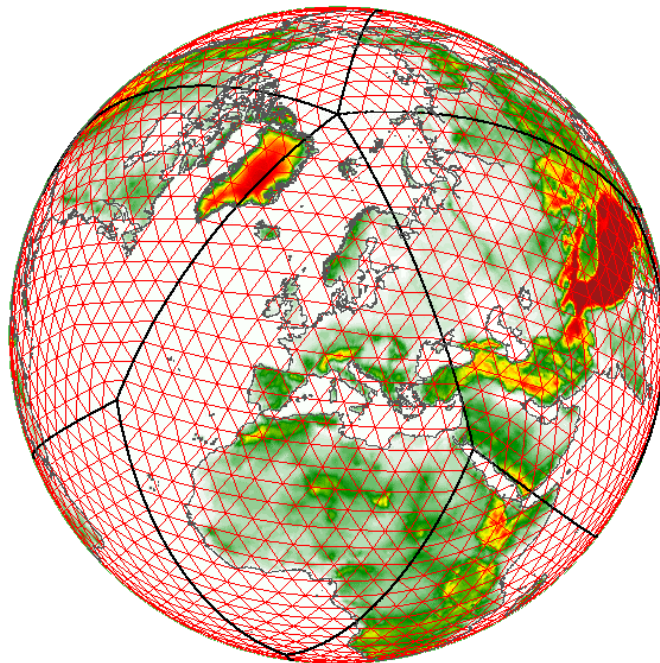




**Kurze Beschreibung
des Global-Modells GME
und seiner Datenbanken auf dem Datenserver
(DAS) des DWD**

D. Majewski, A. Müller (FE 13) und B. Ritter (FE 14)

Stand: 01.08.2001



INHALTSVERZEICHNIS:

1	Vorbemerkungen.....	4
2	Gitterstruktur und Diskretisierung des GME.....	5
2.1	Horizontale Gitterstruktur.....	5
2.2	Vertikale Gitterstruktur.....	8
2.3	Differenzenoperatoren.....	11
2.4	Interpolationsverfahren.....	14
3	Dreidimensionale Modellversion.....	17
3.1	Differentielle Form der Modellgleichungen.....	17
3.2	Numerische Lösung der dreidimensionalen GME-Gleichungen.....	17
3.3	Physikalische Parametrisierungen.....	18
3.3.1	Strahlung.....	19
3.3.2	Skaliger Niederschlag.....	19
3.3.3	Feuchtkonvektion.....	19
3.3.4	Vertikale turbulente Flüsse.....	20
3.3.5	Bewölkung.....	20
3.3.6	Subgrid-skalige orographische Effekte.....	20
3.3.7	Bodenprozesse.....	21
3.4	Externe Parameter.....	21
4	Parallelisierung für MPP-Rechner, zweidimensionale Gebietszerlegung.....	23
5	GME-Vorhersagen als Randwerte für Regionalmodelle weltweit.....	25
6	Anfangszustand und Initialisierung.....	26
7	Interpolation vom Dreiecksgitter auf geographische und polarstereographische Gitter.....	27
8	Übersicht über die GME-Felder im GRIB1-Code.....	31
9	GRIB1-Felder im Dreiecksgitter (Datenbanken i128a und i128f).....	38
9.1	Vorbemerkungen.....	38
9.2	Konstante Felder (Orographie, Land/Meer-Maske, etc.).....	39
9.3	Datenbank i128a (GME-Analysen im Dreiecksgitter, Hauptlauf).....	39
9.4	Datenbank i128f (GME-Vorhersagen im Dreiecksgitter, Hauptlauf).....	40
9.5	Datenbank i128a (GME-Analysen im Dreiecksgitter, Assimilationslauf).....	41
9.6	Datenbank i128f (GME-Vorhersagen im Dreiecksgitter, Assimilationslauf).....	41
9.7	Datenbank i128f (GME-Vorhersagen im Dreiecksgitter, Monatsmittelfelder).....	42
10	GRIB1-Felder im geographischen Gitter.....	43
10.1	Vorbemerkungen.....	43
10.2	Konstante Felder (Orographie, Land/Meer-Maske, etc.).....	43
10.3	Datenbank r128a (GME-Analysen im geographischen Gitter, Hauptlauf).....	43
10.4	Datenbank r128f (GME-Vorhersagen im geographischen Gitter, Hauptlauf).....	44
11	Hinweise zu einigen speziellen Feldern.....	45
11.1	Externe Parameterfelder (LVTYP=1).....	45
11.2	Bodenfelder (LVTYP=1).....	46
11.3	Bodennahe Felder (LVTYP=105).....	48
11.4	Kenngrößen der Bewölkung.....	49
11.5	Atmosphären-Felder.....	51
11.6	Zeitlich gemittelte Felder.....	52
11.7	Wetterinterpretation (ww).....	53

12	Inhalt der Product Definition Section PDS und der Grid Description Section GDS der GRIB1-Felder	54
13	Holen und Entpacken von GME-Feldern aus ORACLE-Datenbanken.....	60
13.1	Holen und Entpacken in zwei getrennten Schritten.....	60
13.2	Holen und Entpacken in einem FORTRAN Programm.....	60
14	Zuordnung Station - Gitterpunkt im Dreiecksgitter des GME Gitterpunktsinformation des GME (GMEGPI)	65
15	Operationeller Ablauf	69
16	Literatur.....	70

1 Vorbemerkungen

Das Global-Modell GME des DWD ist seit dem 1. Dezember 1999 im operationellen Einsatz und stellt die meteorologische Datenbasis für eine Vielzahl von Modellen und Anschlussverfahren bereit. Das GME ist auch beim Amt für Wehrgeophysik (Traben Trarbach) installiert und dient dort als Backup-System, falls der Rechner in Offenbach längere Zeit nicht zur Verfügung stehen sollte.

Dieser Text gibt eine kurze Übersicht über die Gitterstruktur, numerischen 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 (DAS) gegeben.

An der Entwicklung und ersten Validierung des GME waren beteiligt:

D. Majewski	(DWD, FE 13)	Projektleitung, Numerik
D. Liermann	(DWD, FE 13)	Postprocessing, I/O
P. Prohl	(DWD, FE 13)	Initialisierung, Numerik
M. Gertz	(DWD, FE 13)	Quellcodeverwaltung
B. Ritter	(DWD, FE 14)	Physik, externe Parameter
J. Baumgardner	(Los Alamos, USA)	Modelldesign, Numerik
P. Lynch	(Irischer Wetterdienst)	Initialisierung (DFI)
R. Johanni	(SGI/Cray, München)	Parallelisierung für MPP
J. Koch	(Uni Freiburg)	SOR-Lösung
W. Joppich, S. Pott, O. Broeker	(GMD, Birlinghoven)	Designstudien, Algorithmen
P. Finger	(DWD, FE 22)	Niederschlagsvalidierung
Th. Heinze	(Uni Bonn)	Flachwasser-Tests
Chr. Jablonowski	(Uni Bonn, GMD)	Held-Suarez-Test
S. Maus	(Uni Mainz)	Oderhochwasser
S. Blessing	(Uni Hamburg)	Niederschlagsklimatologie
D. Grawe	(Uni Hamburg)	Monatsmittelfelder
J. Quaas	(Uni Köln)	Glättungsoperatoren
M. König	(EUMETSAT)	Validierung OLR/Bewölkung

Optimierung des GME für die Cray T3E:

D. Salmond (SGI/Cray, England)

Datenassimilation:

G. Paul, M. Buchhold (FE 12) und D. Liermann (FE 13)

Operationelle Implementierung:

Th. Hanisch (FE 13), U. Voigt (TI 11) und R. Stanek (TI 12)

Mit der weiteren Entwicklung des GME sind z. Z. im GB FE des DWD betraut:

D. Majewski und A. Müller (FE 13), B. Ritter (FE 14) . Und für die Datenassimilation:

G. Paul, A. Cress und M. Buchhold (FE 12).

Korrekturen und Änderungsvorschläge zu diesem Text senden Sie bitte an:

D. Majewski (FE 13, Tel. 069 8062 2728, e-mail: detlev.majewski@dwd.de).

Weitere Exemplare dieses Textes können Sie von Frau Y. Reiter (FE13, Tel. 069 8062 2731, email: yvonne.reiter@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.

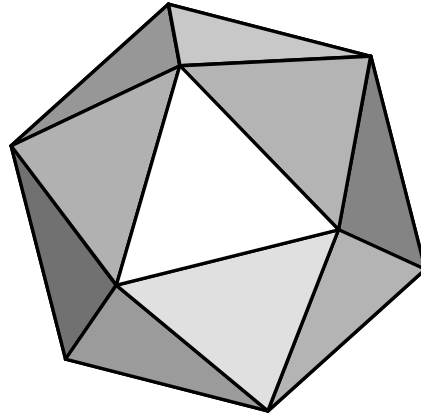


Abb. 1 Ein regulärer Ikosaeder, der aus 20 gleichseitigen Dreiecken besteht.

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

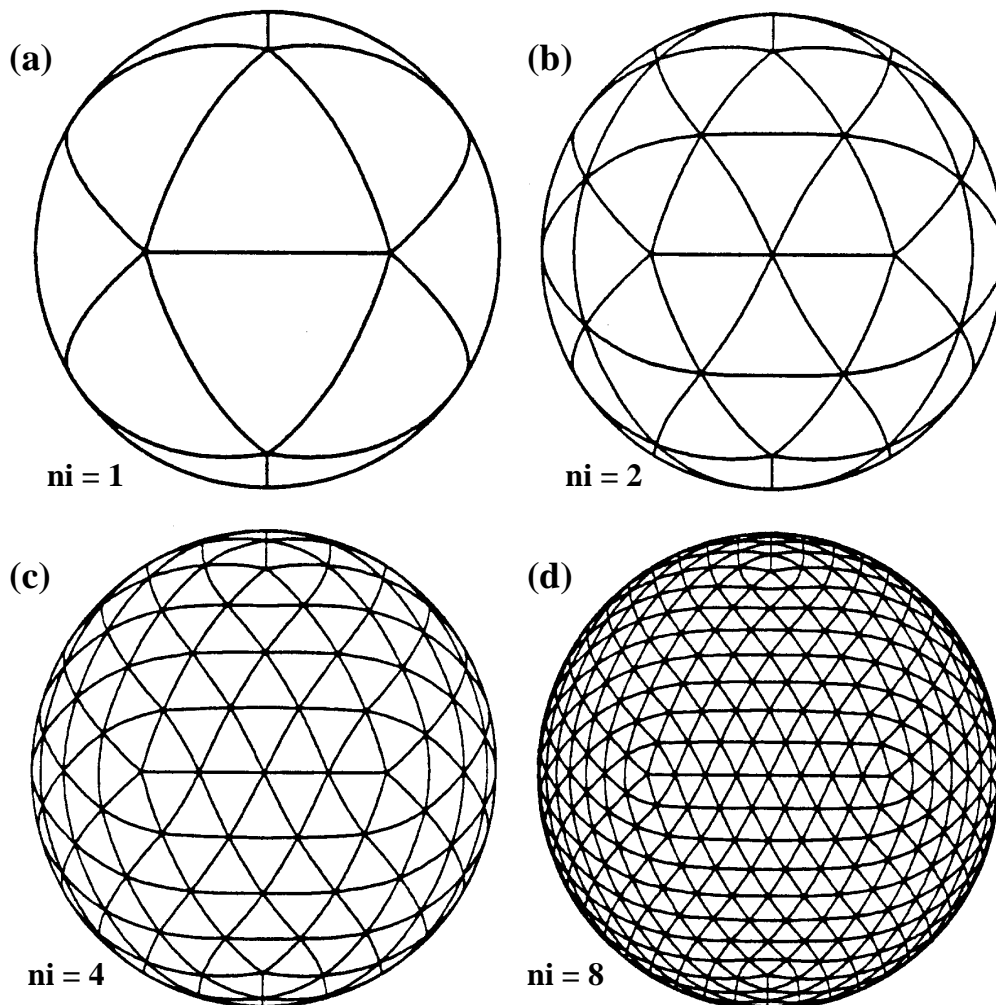


Abb. 2 Gittergenerierung durch rekursive Halbierung der Dreiecksseiten. Der Parameter n_i ist die Anzahl der Intervalle auf einer großen Dreiecksseite.

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, wird zusätzlich zuerst eine Dreiteilung der großen Dreiecksseite mit anschließender rekursiver Halbierung vorgenommen (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. Δ_{av} ist der mittlere; Δ_{\min} ist minimale und Δ_{\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	$A_{\min} \text{ (km}^2\text{)}$	$A_{\max} \text{ (km}^2\text{)}$	$\Delta_{av} \text{ (km)}$	$\Delta_{\min} \text{ (km)}$	$\Delta_{\max} \text{ (km)}$
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	$A_{\min} \text{ (km}^2\text{)}$	$A_{\max} \text{ (km}^2\text{)}$	$\Delta_{av} \text{ (km)}$	$\Delta_{\min} \text{ (km)}$	$\Delta_{\max} \text{ (km)}$
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 128, d. h. die mittlere horizontale Maschenweite im Modell beträgt 59.9 km, die mittlere Gitterfläche beträgt 3100 km².

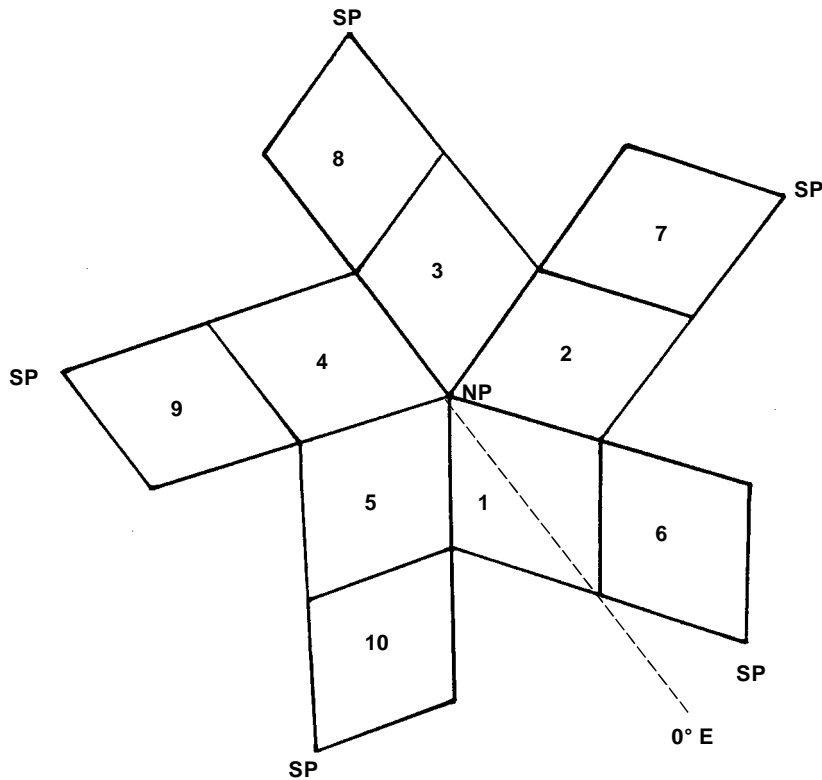


Abb. 3 Logische Datenstruktur des hexagonalen GME-Gitters. Es besteht aus zehn Rhomben, von denen fünf den Nordpol und fünf den Südpol enthalten.

Fasst man alle Gitterpunkte zweier benachbarter großer Dreiecke zusammen, so besteht das globale Gitter aus zehn Rhomben (englisch: diamond). Die Indizierung der Rhomben wird in Abb. 3 näher erläutert. Die Indizierung der Gitterpunkte basiert auf der Konvention, dass jene $n_i \times n_i$ Gitterpunkte, die nur zu einem Rhombus gehören, von 1 bis n_i in den Zeilen und Spalten der Datenfelder numeriert sind (Abb. 4). Die Gitterpunkte an den Kanten der Rhomben, $(0,1)$ bis $(0, n_i+1)$ und $(0, n_i+1)$ bis (n_i, n_i+1) sind gleichzeitig in zwei (manche Eckpunkte in drei) benachbarten Rhomben enthalten, und ihre Werte müssen in jedem Zeitschritt der Vorhersagerechnung ausgetauscht werden. Die polaren Gitterpunkte $(0,1)$ sind sogar in jeweils fünf Rhomben enthalten. Die Rhomben 1 bis 5 enthalten den Nordpol, Rhomben 6 bis 10 enthalten den Südpol.

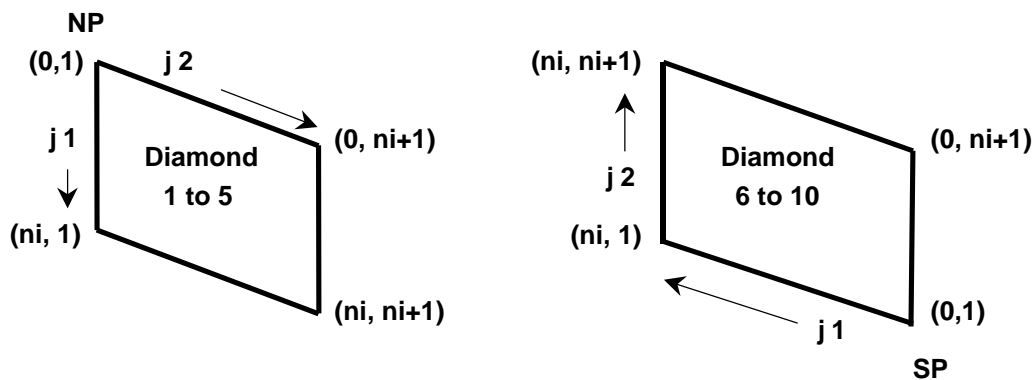


Abb. 4 Indizierung der Gitterpunkte innerhalb eines Rhombus; links für die Rhomben 1 bis 5, die den Nordpol, und rechts für die Rhomben 6 bis 10, die den Südpol enthalten.

Ein GME-Feld **gme_feld** im Dreiecksgitter besteht also aus $10 \cdot (ni+1)^2 = 166410$ Gitterpunkten (für $ni=128$). Die Dimensionierung eines GME-Feldes unter FORTRAN sollte also folgendermaßen erfolgen:

```
PARAMETER (ni=128)
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:

$$p_h(j_1, j_2, j_3, j_d) = ak(j_3) + bk(j_3) \cdot ps(j_1, j_2, j_d)$$

mit $j_3 = 1, i_3e + 1$ wobei i_3e die Anzahl der GME-Schichten ist (z. Z. $i_3e = 31$)
 ps zeitabhängiger Bodendruck auf der Modellorographie
 $j_1 = 0, ni$ Zeilenindex
 $j_2 = 1, ni+1$ Spaltenindex
 $jd = 1, 10$ Rhombusindex.

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:

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

mit $j_3 = 1, i_3e$.

Die Vertikalkoordinatenparameter **ak** und **bk** 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 GME-Felder gelesen werden, um bei Änderungen der Schichteneinteilung Umprogrammierungen oder Fehler zu vermeiden.

Tabelle 2.2 Die Vertikalkoordinatenparameter a_k und b_k des GME (Stand 01.12.1999)

K	a_k (Pa)	b_k (-)
1	0.0	0.00000
2	2000.0	0.00000
3	4000.0	0.00000
4	6000.0	0.00000
5	8000.0	0.00000
6	9976.1	0.00039
7	11820.5	0.00292
8	13431.4	0.00919
9	14736.4	0.02032
10	15689.2	0.03697
11	16266.6	0.05949
12	16465.0	0.08789
13	16297.6	0.12200
14	15791.6	0.16144
15	14985.3	0.20570
16	13925.5	0.25419
17	12665.3	0.30624
18	11261.2	0.36115
19	9771.4	0.41820
20	8253.2	0.47669
21	6761.3	0.53589
22	5345.9	0.59508
23	4050.7	0.65356
24	2911.6	0.71059
25	1954.8	0.76541
26	1195.9	0.81717
27	638.1	0.86496
28	271.6	0.90772
29	72.1	0.94421
30	0.0	0.97299
31	0.0	0.99228
32	0.0	1.00000

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

K	p_f (hPa)	z_f (m)
1	10.0	31055
2	30.0	23849
3	50.0	20576
4	70.0	18442
5	90.0	16848
6	110.7	15537
7	132.4	14400
8	155.8	13368
9	181.1	12412
10	208.6	11516
11	238.3	10670
12	270.1	9858
13	304.0	9074
14	339.9	8319
15	377.5	7591
16	416.9	6892
17	457.7	6220
18	500.0	5574
19	543.5	4954
20	588.1	4359
21	633.5	3789
22	679.6	3244
23	725.9	2725
24	772.1	2234
25	817.5	1774
26	861.4	1349
27	902.6	964
28	940.0	629
29	971.7	352
30	995.7	148
31	1009.3	33

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 33 m über Grund. Die unterste Schicht, etwa 60 m mächtig, wird in der Turbulenzparametrisierung (siehe Kap. 3.3.4) als Prandtl-Schicht (constant flux layer) behandelt. Die oberste Hauptfläche liegt in 10 hPa.

Variablen an den Hauptflächen haben im GRIB1-Code in der Product Definition Section PDS im Wort (8) den Leveltyp (LVTYP) **110**; im GME sind dies die Variablen Temperatur T, Windkomponenten U und V, Vertikalbewegung OMEGA, Wasserdampf QV und Wolkenwasser QC.

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

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 = 31      ! 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 DWDLIB.

2.3 Differenzenoperatoren

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) und *Majewski et al.* (2000) 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. (η, χ) 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 $[\mathbf{x}_0, (\mathbf{e}_\lambda)_0, (\mathbf{e}_\varphi)_0]$, 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 $(\mathbf{e}_\varphi)_0$ ist orthogonal zu \mathbf{x}_0 und zeigt in die globale Nord-Richtung (Abb. 5).

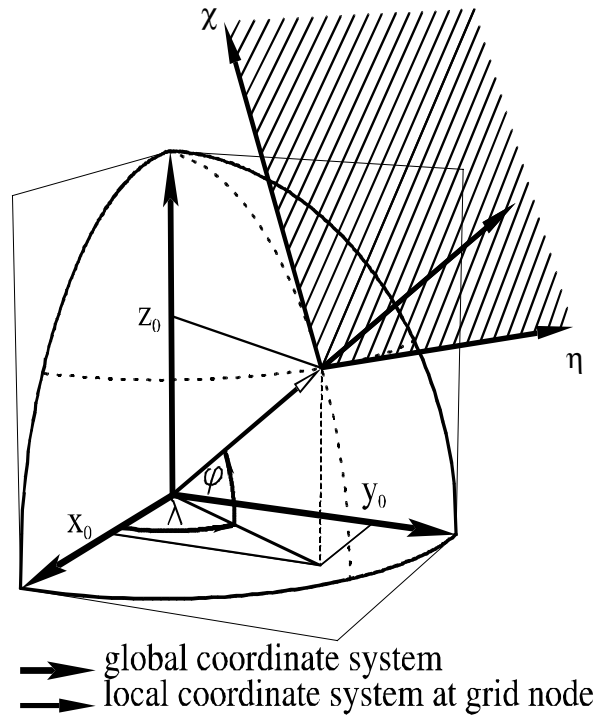


Abb. 5 Das globale kartesische und das lokale sphärische (η , χ) Koordinatensystem

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 Gitterpunktumgebung 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 (η , χ), 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 ψ^* wird in der Nachbarschaft eines Gitterpunktes durch ein quadratisches Polynom ψ in den lokalen Koordinaten (η , χ) 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 ψ wird als gewichtete Linearkombination der Werte von ψ am zentralen Gitterpunkt und den umgebenden 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 (η , χ) gegeben ist. Die Zählung der Gitterpunkte erfolgt gegen den Uhrzeigersinn (Abb. 6).

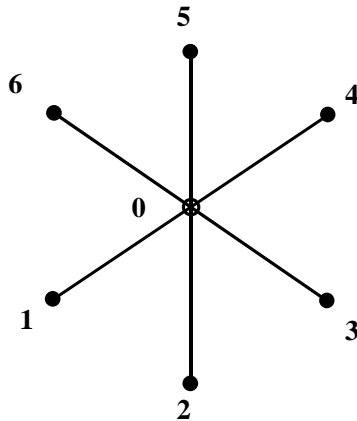


Abb. 6 Der zentrale Gitterpunkt (0) und die 6 Nachbargitterpunkte (1 bis 6).

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 ψ 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) 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, d. h. 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 (ψ_0, ψ_1, ψ_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 ψ an den Ecken des sphärischen Dreiecks mit den baryzentrischen Koordinaten als Gewichten

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

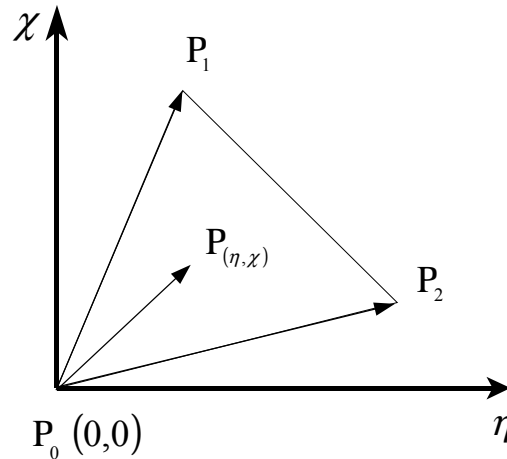


Abb. 7 Ein Dreieck (P_0, P_1, P_2) im lokalen sphärischen Koordinatensystem (η, χ) .

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 ψ 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 ψ an den Mittelpunkten der Dreiecksseiten, ψ_4, ψ_5, ψ_6 , werden durch eine Approximation von ψ entlang der Dreiecksseiten durch ein kubisches Hermite-Polynom bestimmt. Dazu benutzen wir die Gradienten an den Dreiecksseiten, 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).

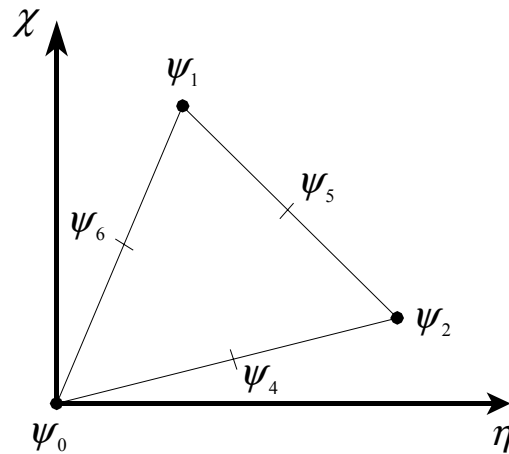


Abb. 8 Die sechs Funktionswerte bei der biquadratischen Interpolation.

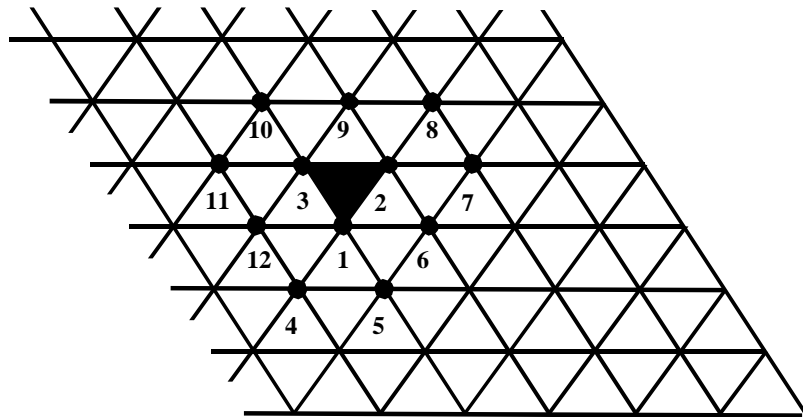


Abb. 9 Die zwölf bei der biquadratischen Interpolation genutzten Gitterpunkte.

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 der dreidimensionalen Version des GME für die lokalen sphärischen Koordinaten (η, χ) und die hybride Vertikalkoordinate ξ lauten in differentieller Form:

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

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

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

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

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

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

wobei (u, v) die zonalen (meridionalen) Windkomponenten sind, T ist die Temperatur, p_s ist der Bodendruck, q_v ist der spezifische Wasserdampfgehalt und q_c ist der spezifische Wolkenwassergehalt, t ist die Zeit und a ist der mittlere Erdradius ($a=6371229$ m), ζ ist die Vorticity und f ist der Coriolis Parameter, ξ ist die Vertikalgeschwindigkeit im hybriden System und ω ist die Vertikalgeschwindigkeit in Druckkoordinaten, α ist die Dichte der Luft, Φ 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 Modellver-

sion 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 beiden prognostischen Feuchtevariablen (q_v , q_c) wird ein semi-Lagrange-Ansatz genutzt, um formerhaltende, positiv-definite Advektion (in horizontaler Richtung) zu garantieren. 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 auf eine dreidimensionale 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 fünf (externer Mode und die ersten vier internen Moden) Helmholtz-Gleichungen zu lösen. Diese fünf zweidimensionalen Helmholtz-Gleichungen werden in der derzeitigen GME-Version mit einem iterativen Relaxationsverfahren gelöst; etwa 20 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 0.55° beträgt die Gitterfläche etwa $60 \times 60 \text{ km}^2$ am Äquator, aber nur $60 \times 0.9 \text{ km}^2$ in Polnähe. Im GME dagegen ist die Größenvariation der Gitterelemente sehr viel geringer. Die nicht vom Gitter aufgelösten atmosphärischen Prozesse haben eine starke Wechselwirkung mit den größerskaligen 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, die bis auf die Behandlung der orographischen Effekte vom EM übernommen wurden. 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 (Doms and Schättler, 1997)
- 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
- subskalige orographische Effekte wie Blockierung und Wellenbildung nach Lott and Miller (1997)
- Austauschprozesse am und im Boden (Jacobsen and Heise, 1982)
- skalige und subskalige Bewölkung in Abhängigkeit vom Wolkenwassergehalt, der relativen Feuchte, der konvektiven Aktivität und der Stabilität.

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. Diese Option wird zur Zeit jedoch nicht genutzt, sondern soll erst in Verbindung mit einer konsistenten Behandlung der Eisphase im hydrologischen Zyklus (geplant für das erste Quartal 2002) aktiviert werden.

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 2 Stunden benutzt, d.h. alle zwei Stunden wird ein kompletter Strahlungszeitschritt berechnet. Die Erwärmungs-/Abkühlungsraten des terrestrischen Teils werden dann für die nächsten zwei Stunden konstant gehalten, während im solaren Teil der Zenitwinkel der Sonne in jedem Zeitschritt neu berechnet, aber die atmosphärischen Eigenschaften für zwei Stunden 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* (1997) beschrieben. Eine Erweiterung des Schemas zur Behandlung der Eisphase befindet sich z. Z. in Erprobung und soll im 1. Quartal 2002 operationell eingesetzt werden.

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.

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

Mittelfristig sollen weitere Studien des verwendeten Konvektionsschemas und alternativer Ansätze durchgeführt werden, durch die insbesondere die Frage nach der bestmöglichen Schließungsbedingung geklärt werden soll.

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 Rechenzeiterparnis wird die Berechnung der atmosphärischen Austauschkoefizienten nur in jedem 5. 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. Die Parametrisierung der partiellen Bewölkung (d. h. im Falle einer relativen Feuchte von unter 100%) 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 ~ 55 - 60 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 gehöri- gen Tendenzen in jedem 5. Modellzeitschritt, und die berechneten Tendenzen werden für die nächsten Zeitschritte festgehalten.

3.3.7 Bodenprozesse

Die Behandlung von Bodenprozessen erfolgt z. Z. noch in einem einfachen Zwei-Schichten-Verfahren nach *Jacobsen and Heise* (1982). Im thermischen Teil wird die Temperatur an der Erdoberfläche und in etwa 8 bis 10 cm Bodentiefe (je nach Bodentyp, siehe Kap. 11.1) bestimmt. In etwa 35 bis 40 cm Bodentiefe wird eine monatlich variierende Grenztemperatur vorgeschrieben. Im hygrischen Teil wird der zeitliche Verlauf der Bodenfeuchte in zwei Bodenschichten (0 bis 10 cm und 10 cm bis 100 cm) berechnet. Zusätzlich wird die zeitliche Veränderung einer eventuellen Schneedecke berücksichtigt. Da zur Zeit noch kein geeigneter globaler Datensatz zur Berücksichtigung des Jahresgangs der Pflanzenentwicklung vorliegt, werden vorläufig zeitlich konstante Werte der von der Pflanzenbedeckung abhängigen Größen (Pflanzenbedeckungsgrad PLCOV und vegetationsabhängigen Anteil der Rauigkeitslänge Z0) verwendet. Nur die Wurzellänge ROOT unterliegt in den Aussertropen einem empirischen Jahresgang mit Werten von etwa 12 cm im Winter und 90 cm im Sommer.

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 (ROOT)
- Pflanzenbedeckungsgrad (PLCOV)
- Pflanzenbedeckungsgrad mit Nadelwald (FOR_E)
- Pflanzenbedeckungsgrad mit Laubwald (FOR_D)
- 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)

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,
- Landnutzungsdaten in 1 km Auflösung, bereitgestellt vom EOS (Earth Observing System) der NASA und basierend auf einer Auswertung von Satellitendaten (AVHRR) durch den USGS, die Universität von Nebraska-Lincoln und das „Joint Research Centre“ der europäischen Gemeinschaft,
- digitale Bodendaten in einer Auflösung von 5 Bogenminuten aus einem globalen Datensatz der FAO (Food and Agricultural Organization).

Weitere Informationen zu den Datenquellen und Vorgehensweisen sind ausführlich im INTERNET des DWD unter dem Punkt externe Parameter im Referat **FE14** zu finden.

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

Dataset	Source	Coverage	Resolution	Projection	Derived parameters
GLOBE GLOBE Task Team and others, 1998	NOAA/ NGDC	Global	30''	regular	height & sub-grid scale orographic parameters
GLCC Loveland et al., 2000	USGS	Global	~1 km	Goode ho- mologous	land fraction, roughness length, root depth, plant cover & leaf area index
CORINE http://etc.satellus.se	ETC/LC	Most European countries	250 m	Lambert azi- muthal	land fraction, roughness length, root depth, plant cover & leaf area index
DSMW FAO, 1992	FAO	Global	5'	regular	soil type

CORINE : CoORDination of INformation on the Environment
DSMW : Digital Soil Map of the World
ETC/LC : European Topic Centre on Land Cover
FAO : Food and Agricultural Organisation of UNO
GLCC : Global Land Cover Characterization
GLOBE : Global Land One-kilometer Base Elevation
NOAA/NGDC : National Oceanic and Atmospheric Administration
USGS : United States Geological Survey

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 59.9 km beträgt die mittlere Größe der Gitterelemente 3100 km². 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. Liegen für eine geographische Region mehrere Rohdatensätze für den gleichen Parameter vor, so wird eine Prioritätssetzung, basierend auf einer Qualitätseinschätzung der Rohdaten, vorgenommen. Für die meisten Gitterelemente in Europa werden beispielsweise alle Parameter, die von der Landnutzung abhängen, aus dem CORINE Datensatz statt aus dem größeren GLCC Datensatz genommen.

4 Parallelisierung für MPP-Rechner, zweidimensionale Gebietszerlegung

Da schon im Design des GME eine zweidimensionale (horizontale) Gebietszerlegung vorgesehen war, wurden nur etwa drei Monate benötigt, um das Programm mittels MPI (Message Passing Interface) zu parallelisieren. Das GME-Quellprogramm ist in Standard FORTRAN 90 geschrieben und voll portabel. Bei der zweidimensionalen Gebietszerlegung (Abb. 10) werden die $(n_i+1)^2$ Gitterpunkte eines jeden Rhombus auf $n_1 \times n_2$ Prozessoren (processing elements, PEs) verteilt.

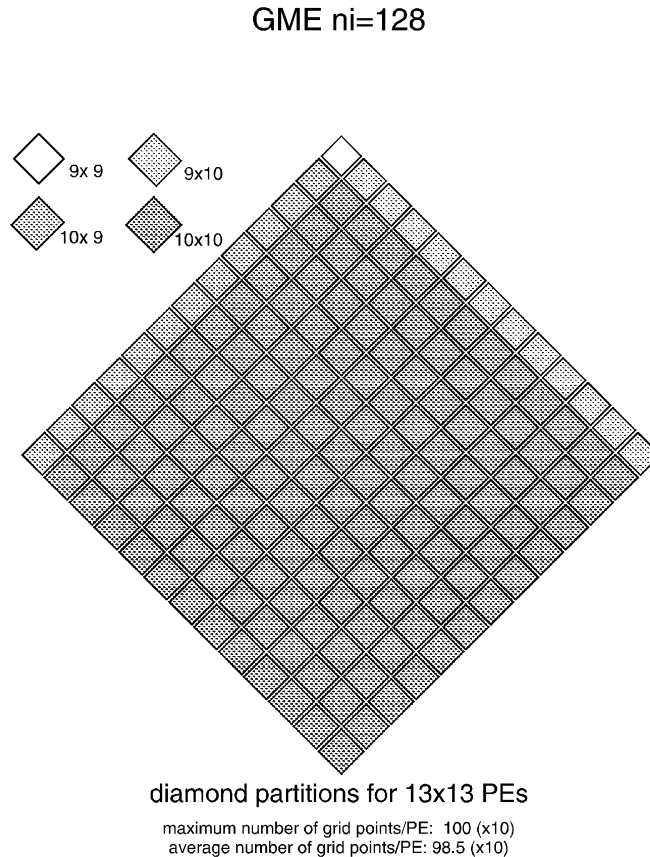


Abb. 10 Zweidimensionale Gebietszerlegung eines Rhombus des GME für 13 x 13 PEs.

Jeder PE berechnet also 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 13 x 13 PEs einer Cray T3E1200 benötigen die physikalischen Parametrisierungen pro Vorhersagetag beispielsweise zwischen 220s und 298s Realzeit; die mittlere Realzeit beträgt 267s. In der derzeitigen operationellen GME-Version verfügt jedes Teilgebiet über eine Randzone (*halo*) von nur zwei Gitterpunktsreihen und Spalten. Diese Daten müssen nach jedem Zeitschritt mittels MPI mit den PEs ausgetauscht werden, die die benachbarten Teilgebiete bearbeiten. Während eines kompletten Vorhersagezeitschrittes gibt es insgesamt im GME nur sieben Synchronisationspunkte, an denen Daten zwischen Teilgebieten ausgetauscht werden müssen. 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.

Das Quellprogramm des GME wurde mittlerweile auf verschiedensten Parallelrechnern, u. a. Vektorrechnern wie Fujitsu VPP700 und VPP5000 und NEC SX5 sowie Rechnern mit RISC-Prozessoren wie Cray T3E, SGI Origin und IBM SP, installiert. Allerdings wurde nur in sehr beschränktem Maße eine Optimierung des Programms für die verschiedenen Rechnerarchitekturen vorgenommen, so dass hier sicherlich noch eine Verbesserung der Rechenleistung erzielt werden kann. Abb. 11 zeigt den Geschwindigkeitsgewinn (Speed-Up) durch Nutzung mehrerer Prozessoren auf der Cray T3E1200 des DWD für eine 24-stündige Vorhersage mit der operationellen Version des GME mit einer Maschenweite von 59.9 km und 31 Schichten. Im Bereich zwischen 5 x 5 und 13 x 13 PEs kann eine nahezu lineare Beschleunigung erzielt werden. Ungefähr 60 PEs werden benötigt, um eine 24-stündige Wettervorhersage in weniger als 30 Minuten durchzuführen.

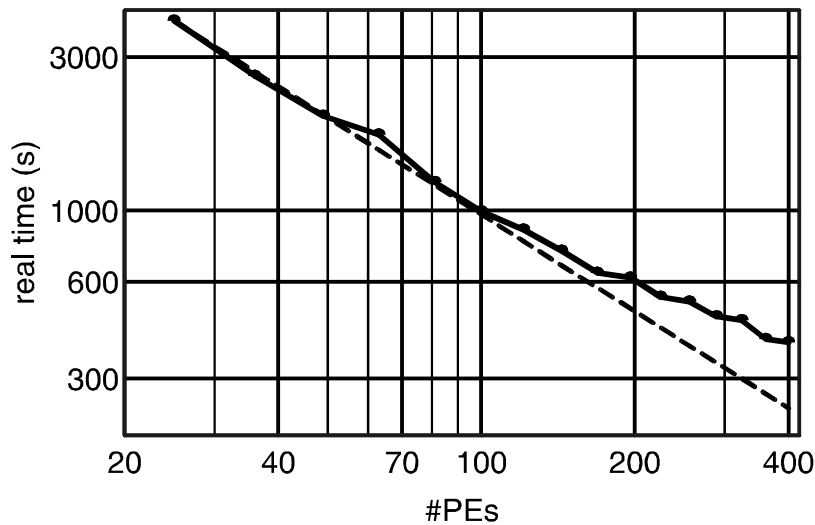


Abb. 11 Realzeit (in s) für eine 24h-Prognose des GME (Maschenweite: 59.9 km, 31 Schichten) als Funktion der Anzahl der genutzten Cray T3E Prozessoren.

Im operationellen Betrieb auf der Cray T3E werden 13 x 13 PEs verwendet. Auf der neuen IBM SP des DWD werden für die gleiche Rechengeschwindigkeit nur noch 6 x 8 PEs benötigt.

Abb. 12 gibt einen Überblick über die Verteilung der Kosten einer operationellen GME-Vorhersage auf die verschiedenen Programmteile. Die physikalischen Parametrisierungen benötigen etwa die Hälfte der Rechenzeit, wobei die Berechnung der kurz- und langwelligen Strahlungsflüsse am teuersten ist.

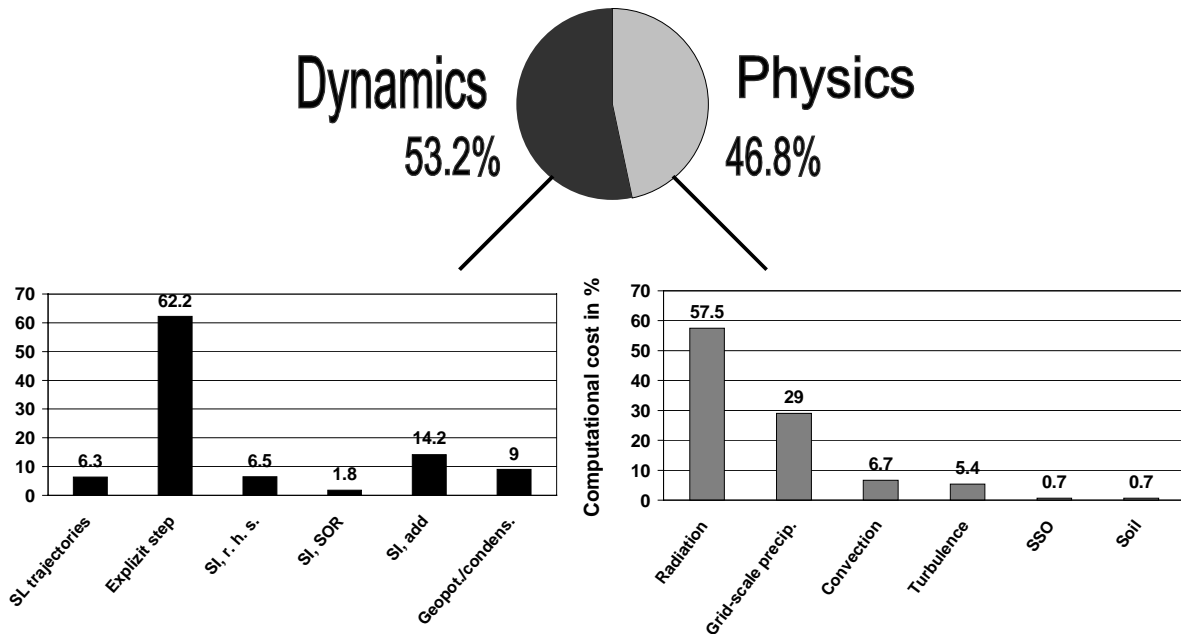


Abb. 12 Kosten der verschiedenen Programmteile des GME (Maschenweite: 59.9 km, 31 Schichten) für eine 24h-Vorhersage auf der Cray T3E mit 13x13 PEs.

5 GME-Vorhersagen als Randwerte für Regionalmodelle weltweit

Analyse- und Vorhersagedaten des GME werden über das Internet zu mehreren 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 LM. 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 *verteiltetes 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 zwölf nationalen Dienste zweimal täglich (für 00 und 12 UTC) GME-Analysen und -Vorhersagen:

- Brasilien (Directorate of Hydrography and Navigation)
- Brasilien (Instituto Nacional de Meteorologia)
- China (Guangzhou Regional Meteorological Centre)
- Griechenland (National Meteorological and Hydrological Service)
- Israel (Israel Meteorological Service)
- Italien (Regional Service SMR-ARPA)
- Jugoslawien (National Meteorological and Hydrological Service)
- Oman (National Meteorological Service, DGCAM)

- Polen (National Meteorological Service, IMGW)
- Rumänien (National Meteorological and Hydrological Service)
- Schweiz (Meteo Schweiz)
- Vietnam (National Meteorological and Hydrological Service).

Die Maschenweiten der Regionalmodelle liegen dabei üblicherweise zwischen 30 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 für GME-Vorhersagen beruht auf einer intermittierenden vierdimensionalen Datenassimilation im 6-Stunden-Rhythmus. Die Analyse verwendet das statistische Verfahren der optimalen Interpolation (OI). Hierbei wird die für den Analysetermin gültige 6-stündige GME-Vorhersage (First Guess) durch Beobachtungen so korrigiert, dass im statistischen Mittel (nicht im Einzelfall) der Analysenfehler möglichst gering ist.

In der Atmosphäre werden die Variablen Geopotential und horizontale Windkomponenten in einem multivariaten Ansatz gemeinsam bestimmt, um die geostrophische Beziehung zwischen Wind- und Massenfeld berücksichtigen zu können. Die Temperatur ergibt sich dann diagnostisch aus der hydrostatischen Beziehung. Die Feuchtevariablen werden univariat analysiert, wobei für den Wolkenwassergehalt nur ein Abgleich mit der Analyse der relativen Feuchte (kein Wolkenwasser in Gebieten mit relativer Feuchte $< 100\%$) stattfindet. Zusätzlich werden einmal täglich (für 00 UTC) die Wassertemperatur und Eisgrenze bestimmt. Gebiete mit Wassertemperaturen $< -1.8^{\circ}\text{C}$ sind als eisbedeckt anzusehen. Als letzte Variable wird das Wasseräquivalent des Schnees (in Form der Schneehöhe) aus den verfügbaren SYNOP-Beobachtungen analysiert.

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 $t = -3\text{h}$, gefolgt von einer diabatischen Vorwärtsintegration von $t = -1.5\text{h}$ bis $t = +1.5\text{h}$, 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 6-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 $t = 0h$ ergibt sich also aus:

$$IA = FG + (UA (DFI) - FG (DFI)).$$

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 neun 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 und Wolkenwasser) unverändert von der Analyse übernommen.

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

Achtung:

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.

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 $\Delta\lambda = \Delta\phi = 0.75^\circ$, d.h. $480 \times 241 = 115680$ Gitterpunkte je Feld, bereitgestellt. Da ein GME-Feld im Dreiecksgitter aber über $128^2 \times 10 + 2 = 163842$ originäre Gitterpunkte (d.h. ohne die doppelt vorhandenen Kanten der Diamanten) verfügt, tritt durch die geringere Auflösung des geographischen Gitters natürlich ein gewisser Informationsverlust auf.

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 und relative Feuchte werden zusätzlich auf den Wertebereich ≥ 0 beschränkt.

Option: 'Q'

- Bodenfelder, 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, 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“ 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 (Bestandteil der DWDLIB zur Transformation und zum Plotten von Feldern) integriert.

GME-Felder des Typs **i128a/f** (Dreiecksgitter) können mit Hilfe eines „trafo“-Auftrages in Felder des Typs **r128a/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 r128f-Felder bestehenden Lücken zu füllen.

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

Eine Dokumentation dieses Werkzeugs kann im Intranet des DWD unter

http://inet/ti/ti11/mrz_soft1.html

eingesehen werden.

Eine Übersicht erhält man auch mit

disdwd felplo

und detailliertere Beschreibungen (siehe Tabelle 7.1) mit

disdwd felp bzw. *disdwd felpi* (Bankauftrag, Transformation, Plotten)

disdwd obatra (Bankauftrag, Transformation)

disdwd tramg3 und *disdwd tragb1* (Transformation)

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

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

Beispiele:

Interpolation $i128f \rightarrow r128f$

Steht auf \$TMPDIR/uegabe ein Feld des Typs i128f, so wird mit dem Kommando

```
i = trafo_r128f ~routarz/bin/tramg3
```

eine Datei \$TMPDIR/feld angelegt, die das interpolierte Feld des Typs r128f enthält.

Die Auftragsdatei „trafo_r128f“ hat dabei folgenden Inhalt:

```
/trafo,proj=0,ft=r128or,cogdb=2,giwx=0.75,giwy=0.75,intart=1)
```

Die Angabe der Gitterweiten *giwx* und *giwy* mit 0.75 Grad ist erforderlich, da sonst vom „trafo“-Programm aus der Maschenweite des GME von ~60km ein Gradabstand von 0.5 ermittelt wird. 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=60000,giwy=60000,ft=d,intart=1)
```

wird ein polarstereographisches Gitter (*proj=5*, Standardeinstellung) für das D-Format mit einer Gitterweite von ungefähr 60km 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 Einzeldauerauftrag *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=0.75,giwy=0.75,ft=r128or,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.

8 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 und tab=203) genutzt.

Tabelle 8.1: Unveränderliche Felder (Datum D=000000)

Name	Element	Element-Nr. (EE)	Tabellen-Nr. (TAB)	Lev-Typ (LVTYP)	Levtop (LVT)	Levbot (LV)	Einheit
FIS	Geopotential der Erdoberfläche	6	WMO	1	-	-	m ² /s ²
Z0	Rauhigkeitslänge (nur Landpunkte !)	83	WMO	1	-	-	m
FR_LAND	Landanteil der Unterlage	81	WMO	1	-	-	1
SOILTYP	Bodentyp des Landanteils (Schlüsselziffer 0...9)	57	202	1	-	-	1
RLAT	Geographische Breite	114	202	1	-	-	Deg. N
RLON	Geographische Länge	115	202	1	-	-	Deg. E
ROOT	Wurzellänge, Vegetationsperiode	62	202	1	-	-	m
PLCOV	Pflanzenbedeckung (Englisch: plant cover)	87	WMO	1	-	-	%
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
PLCOV_MN	Pflanzenbedeckungsgrad in der Ruhephase	68	202	1	-	-	1
FOR_E	Pflanzenbedeckung mit Nadelwald (Englisch: evergreen forest)	75	202	1	-	-	1
FOR_D	Pflanzenbedeckung mit Laubwald (Englisch: deciduous forest)	76	202	1	-	-	1
LAI_MX	Blattflächenindex in der Vegetationsphase (Englisch: leaf area index)	69	202	1	-	-	1
LAI_MN	Blattflächenindex in der Ruhephase	70	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
FI	Geopotential	6	WMO	109	-	-	m ² /s ²
T	Temperatur	11	WMO	110	-	-	K
QV	Spezifische Feuchte	51	WMO	110	-	-	kg/kg
QC	Spezifischer Wolkenwassergehalt	31	201	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
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
T_M	Temperatur an der Obergrenze der mittleren Bodenschicht	85	WMO	111	-	9	K
T_CL	Temperatur an der Untergrenze der mittleren Bodenschicht (Klimatologie)	85	WMO	111	-	36	K
QV_S	Spezifische Feuchte an der Erd- bzw. Schneeoberfläche	51	WMO	1	-	-	kg/kg
W_SNOW	Wassergehalt der Schneedecke	65	WMO	1	-	-	mmH ₂ O
W_I	Wassergehalt des Interzeptionsspeichers	200	201	1	-	-	mmH ₂ O

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
W_G1	Wassergehalt der oberen Bodenschicht	86	WMO	112	0	10	mmH ₂ O
W_G2	Wassergehalt der mittleren Bodenschicht	86	WMO	112	10	100	mmH ₂ O
W_CL	Wassergehalt der unteren Bodenschicht (Klimatologie)	86	WMO	112	100	190	mmH ₂ O
VIO3	Vertikal integrierter Ozongehalt (Klimatologie)	65	202	1	-	-	Pa(O ₃)
HMO3	Höhe des Ozon-Maximums (Klimatologie)	64	202	1	-	-	Pa
PLCOV	Pflanzenbedeckungsgrad	87	WMO	1	-	-	%
ROOT	Wurzeltiefe der Pflanzen	62	202	1	-	-	m

Tabelle 8.4: Auf Druckflächen bzw. NN interpolierte 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	100	-	-	m/s
V	Meridionaler Wind	34	WMO	100	-	-	m/s
FI	Geopotential	6	WMO	100	-	-	m ² /s ²
T	Temperatur	11	WMO	100	-	-	K
RELHUM	Relative Feuchte	52	WMO	100	-	-	%
PS	auf NN reduzierter Bodendruck	2	WMO	102	-	-	Pa

Tabelle 8.5: Hybride Multi-Flächen-Felder für Vorhersagen (VV>0) bzw. 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	110	-	-	m/s
V	Meridionaler Wind	34	WMO	110	-	-	m/s
FI	Geopotential	6	WMO	109	-	-	m ² /s ²
T	Temperatur	11	WMO	110	-	-	K
QV	Spezifische Feuchte	51	WMO	110	-	-	kg/kg
QC	Spezifischer Wolkenwassergehalt	31	201	110	-	-	kg/kg
CLC	Wolkenbedeckungsgrad für jede Modellschicht	29	201	110	-	-	%
OMEGA	Vertikalbewegung $\omega = dp/dt$	39	WMO	110	-	-	Pa/s

Tabelle 8.6: 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
T_M	Temperatur an der Obergrenze der mittleren Bodenschicht	85	WMO	111	-	9	K
QV_S	Spezifische Feuchte an der Erd- bzw. Schneeoberfläche	51	WMO	1	-	-	kg/kg
W_SNOW	Wassergehalt der Schneedecke	65	WMO	1	-	-	mmH ₂ O
W_I	Wassergehalt des Interzeptionsspeichers	200	201	1	-	-	mmH ₂ O

Fortsetzung der Tabelle 8.6(2): 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
W_G1	Wassergehalt der oberen Bodenschicht	86	WMO	112	0	10	mmH ₂ O
W_G2	Wassergehalt der mittleren Bodenschicht	86	WMO	112	10	100	mmH ₂ 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 ²
ATHB_S	Strahlungsbilanz am Erdboden (langwellig); Mittel über Vorhersagezeit	112	WMO	1	-	-	W/m ²
APAB_S	Photosynthetisch aktive Strahlung am Boden; Mittel über Vorhersagezeit	5	201	1	-	-	W/m ²
ALB_RAD	Albedo des Bodens im Kurzwelligen	84	WMO	1	-	-	%
ASOB_T	Strahlungsbilanz am Oberrand der Atmosphäre (kurzwellig); Mittel über die Vorhersagezeit	113	WMO	8	-	-	W/m ²
ATHB_T	Strahlungsbilanz am Oberrand der Atmosphäre (langwellig); Mittel über die Vorhersagezeit	114	WMO	8	-	-	W/m ²
RAIN_GSP	Regen (skaliger Niederschlag), summiert seit Vorhersagebeginn	102	201	1	-	-	kg/m ²
SNOW_GSP	Schnee (skaliger Niederschlag), summiert seit Vorhersagebeginn	79	WMO	1	-	-	kg/m ²
RAIN_CON	Regen (konvektiver Niederschlag), summiert seit Vorhersagebeginn	113	201	1	-	-	kg/m ²
SNOW_CON	Schnee (konvektiver Niederschlag), summiert seit Vorhersagebeginn	78	WMO	1	-	-	kg/m ²

Fortsetzung der Tabelle 8.6(3): 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
RUNOFF_S	Oberflächenabfluss Summiert seit Vorhersagebeginn	90	WMO	112	-0	-10	kg/m ²
RUNOFF_G	Bodenwasserabfluss Summiert seit Vorhersagebeginn	90	WMO	112	10	100	kg/m ²
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	-	-	%

Fortsetzung der Tabelle 8.6(4): 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
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
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 ²)
AVMFL_S	Impulsfluss von V-Impuls am Boden; Mittel über Vorhersagezeit	125	WMO	1	-	-	kg/(m·s ²)
ASHFL_S	fühlbarer Wärmefluss am Boden; Mittel über Vorhersagezeit	122	WMO	1	-	-	W/m ²
ALHFL_S	latenter Wärmefluss am Boden; Mittel über Vorhersagezeit	121	WMO	1	-	-	W/m ²
WW	Interpretiertes Wetter im WMO-Schlüssel	99	203	1	-	-	-

Tabelle 8.7: 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 ² /s ²
T	Temperatur	11	WMO	100	-	-	K
RELHUM	Relative Feuchte	52	WMO	100	-	-	%
OMEGA	Vertikalbewegung $\omega = dp/dt$	39	WMO	100	-	-	Pa/s
PS	auf NN reduzierter Bodendruck	2	WMO	102	-	-	Pa

9 GRIB1-Felder im Dreiecksgitter (Datenbanken i128a und i128f)

9.1 Vorbemerkungen

Die Felder in den mit „i128“ beginnenden Datenbanken sind auf dem Dreiecksgitter („Ikosaeder“) des GME definiert.

Die GRIB-Länge eines Feldes in **Worten à 4 Byte** (= 32 Bit) beträgt: 83297

Die GRIB-Länge eines Feldes in **Bytes** beträgt: 333186

Die Anzahl der Gitterpunkte eines Feldes beträgt: $10 \cdot 129^2 = 166410$

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=128

2-dimensional: gme_feld ((ni+1)*(ni+1), 10) mit ni=128

3-dimensional: gme_feld (0:ni, 1:ni+1,1:10) mit ni=128.

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.

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

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

Die Datenbank **ty=i128a dbase=gme id=routarz rty=c rki=routi d=000000** 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):

FIS	, Z0	, FR_LAND	, SOILTYP	, RLAT	, RLON	,
SSO_STDH	, SSO_GAMMA	, SSO_THETA	, SSO_SIGMA	, ROOT	, PLCOV	,
PLCOV_MX	, PLCOV_MN	, FOR_E	, FOR_D	, LAI_MX	, LAI_MN	

Im GME ist der Pflanzenbedeckungsgrad (PLCOV) z. Z. ein konstanter Wert ohne Jahresgang. Es ist für die Zukunft geplant, ihn aus aktuellen Satellitendaten (NDVI-Index) abzuleiten. Die Wurzellänge ROOT unterliegt in den Aussertropen einem empirischen Jahresgang mit Werten von etwa 12 cm im Winter und 90 cm im Sommer.

Zusätzlich enthält die Klima-Datenbank die Felder T_CL und W_CL (Tab. 8.3) für jeden Monat des Jahres als untere Randbedingung für das Bodenmodell.

9.3 Datenbank i128a (GME-Analysen im Dreiecksgitter, Hauptlauf)

Die Datenbank **ty=i128a dbase=gme id=routarz rty=m rki=routi** enthält die uninitialisierten Analysen des GME für die Termine 00, 12 und 18 UTC des Hauptlaufs (rty = main). Sie bilden die Ausgangsdaten für die GME-Vorhersagen im Hauptlauf (siehe Kap. 9.4).

Die Datenbank enthält je Termin folgende 169 Felder (siehe Tab. 8.2, 8.3 und 8.6):

T	, U	, V	, QV	, QC	(31 Modellschichten)	
PS	, T_SNOW	, T_S	, T_G	, T_M	, QV_S	,
W_SNOW	, W_I	, W_G1	, W_G2	, QV_2M	, T_2M	,
TD_2M	, Z0					

T, U, V, QV, QC sind in den Schichtmitten (Hauptflächen, LVTYP = 110) definiert.

Zum Start des GME werden zusätzlich die folgenden 19 Felder:

FIS	, FR_LAND	, SOILTYP	, T_CL	, W_CL	,	
SSO_STDH	, SSO_GAMMA	, SSO_THETA	, SSO_SIGMA	, ROOT	, PLCOV.	,
PLCOV_MX	, PLCOV_MN	, FOR_E	, FOR_D	, LAI_MX	, LAI_MN	,
RLON	, RLAT					

aus der Klima-Datenbank (siehe Kap. 9.2) benötigt. Im Analysenfile des GME sind also 188 Felder enthalten.

9.4 Datenbank i128f (GME-Vorhersagen im Dreiecksgitter, Hauptlauf)

Die Datenbank **ty=i128f 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 **18 UTC**.

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

Die Datenbank enthält folgende Felder (siehe Tab. 8.1, 8.5 – 8.7):

Für vv = 0h:

FIS , FR_LAND , SOILTYP , RLON , RLAT ,
 PLCOV , ROOT , VIO3 , HMO3 , T_CL , W_CL

Für vv ≥ 0h mit Δ = 1h von 0 – 78h und Δ = 3h von 81 – 174h:

T , U , V , QV , QC , CLC, OMEGA (31 Modellschichten)

FI (31 Schichtgrenzen)

T , U , V , RELHUM , OMEGA, FI (5 Druckflächen)
 (950, 850, 700, 500, 300 hPa)

PS (auf Meeresniveau reduziert)

PS , T_SNOW , T_S , T_G , T_M , 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

Die Felder TMIN_2M, TMAX_2M und VMAX_10M sind nur im 6-stündigen Intervall von vv=6h bis vv=174h gespeichert, weil sie Extremwerte über die vergangenen 6 Stunden sind. Das Feld WW (Wetterinterpretation) liegt in 3-stündigem Intervall von vv=3h bis vv=174h vor.

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

Achtung:

Um Plattenplatz zu sparen, liegen die Felder auf Druckflächen sowie CLC und OMEGA auf Modellflächen nur für den aktuellen Vorhersagelauf vor, für ältere Läufe werden die Felder aus der Datenbank entfernt.

Gesamtmenge der Daten für eine GME-Vorhersage ausgehend von 00 oder 12 UTC:

$(11 + (79 + 32) * (8 * 31 + 6 * 5 + 46) + 29 * 3 + 58 * 1) * 0.333 \text{ MByte} = 36120 * 0.333 \text{ MByte} = \mathbf{12.0 \text{ GByte}}$.

Es liegen on-line (d. h. auf Magnetplatten mit raschem Zugriff) 2 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 ein Jahr lang archiviert.

9.5 Datenbank i128a (GME-Analysen im Dreiecksgitter, Assimilationslauf)

Die Datenbank **ty=i128a dbase=gme id=routarz rty=a rki=routi** enthält die **uninitialisierten Analysen** des GME für die Analysentermine 00, 06, 12 und 18 UTC des Assimilationslaufs (rty = ass). Sie bilden die Ausgangsdaten für die GME-Vorhersagen im Assimilationslauf (siehe 9.6).

Die Datenbank enthält je Termin folgende 169 Felder (siehe Tab. 8.2, 8.3 und 8.6):

T , U , V , QV , QC (31 Modellschichten)

PS , T_SNOW , T_S , T_G , T_M , QV_S ,
 W_SNOW , W_I , W_G1 , W_G2 , QV_2M , T_2M ,
 TD_2M , Z0

Es liegen on-line (d. h. auf Magnetplatten mit raschem Zugriff) 3 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 i128f (GME-Vorhersagen im Dreiecksgitter, Assimilationslauf)

Die Datenbank **ty=i128f dbase=gme id=routarz rty=a rki=routi** enthält die Vorhersagen des GME im Dreiecksgitter für die Assimilationsläufe (rty = a(ss)) von 0h und 6h ausgehend von **00, 06, 12 und 18 UTC**.

Die Datenbank enthält folgende Felder (siehe Tab. 8.5 – 8.7):

Für vv = 0h:

FIS , FR_LAND , SOILTYP , RLON , RLAT ,
 PLCOV , ROOT , VIO3 , HMO3 , T_CL , W_CL

Für vv ≥ 0h mit Δ = 1h von 0 bis 6h:

T , U , V , QV , QC , OMEGA (31 Modellschichten)

FI (31 Schichtgrenzen)

PS , T_SNOW , T_S , T_G , T_M , 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

Für vv= 6h zusätzlich die initialisierte Vorhersage (für die IDFI, siehe Kap. 6)

T , U , V , QV , QC (31 Modellschichten) sowie PS

Es liegen on-line (d. h. auf Magnetplatten mit raschem Zugriff) 2 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 ein Jahr lang archiviert.

9.7 Datenbank i128f (GME-Vorhersagen im Dreiecksgitter, Monatsmittelfelder)

Die Datenbank **ty=i128f dbase=gme id=routarz rty=m rki=momit** enthält die Monatsmittel der Vorhersagen des GME im Dreiecksgitter 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 Gültigkeitstermin der Vorhersage, d. h. von einer Vorhersage, die am 28. März um 00 UTC startet, werden alle Vorhersagen bis zum Vorhersagezeitpunkt +90h für den März, ab +96h für den April gerechnet.

Die Datenbank enthält folgende 38 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 , T_M , W_SNOW , W_I , W_G1 ,
 W_G2 , SPEED_10M , T_2M , TD_2M , TMIN_2M , TMAX_2M ,
 VMAX_10M , CLCT , CLCH , CLCM , CLCL

PS_MSL , U , V , T , FI , RELHUM
 für die Druckflächen 850, 700, 500, 300 hPa.

TMIN_2M, TMAX_2M und VMAX_10M liegen erst ab VV = 6h vor. SPEED_10M ist die aus U_10M und V_10M berechnete Windgeschwindigkeit.

Zusätzlich enthält die Datenbank folgende 12 Felder (siehe Tab. 8.6) für die 34 Zeitintervalle

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

ASOB_S , ATHB_S , ASOB_T , ATHB_T , RAIN_GSP , SNOW_GSP ,
 RAIN_CON , SNOW_CON , RUNOFF_S , RUNOFF_G , ASHFL_S , ALHFL_S

Für einen Monat enthält die Datenbank insgesamt 1720 Felder.

Achtung:

Die Mittelbildungsintervalle für diese Monatsmittelfelder beziehen sich auf die oben angegebenen 34 Zeitintervalle, während sie in den normalen Vorhersagedatenbanken immer den Zeitbereich vom Beginn der Vorhersage (vv = 0h) bis zum aktuellen Vorhersagezeitpunkt betreffen.

10 GRIB1-Felder im geographischen Gitter

10.1 Vorbemerkungen

Um einfache grafische Anwendungen zu unterstützen, werden Felder des GME vom Dreiecksgitter zusätzlich auf ein reguläres geographisches Gitter der Maschenweite $\Delta\lambda = \Delta\phi = 0.75^\circ$ (= 480*241 Gitterpunkte) interpoliert.

Die GRIB-Länge eines Feldes in **Worten à 4 Byte** (= 32 Bit) beträgt: 57868
 Die GRIB-Länge eines Feldes in **Bytes** beträgt: 231470
 Die Anzahl der Gitterpunkte eines Feldes beträgt: 480*241 = 115680.

Der Gitterpunkt (1, 1) liegt bei 90°S, 0°E, der Gitterpunkt (480, 241) bei 90°N, 0.75°W. Die Datenspeicherung erfolgt zeilenweise von links unten nach rechts oben.

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

Die Datenbank **ty=r128a 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 $\Delta\lambda = 0.75^\circ$, $\Delta\phi = 0.75^\circ$) mittels bilinearer Interpolation interpoliert worden (siehe Kap. 7).

Die Datenbank enthält z. Z. folgende 18 Felder (siehe Tab. 8.1):

FIS , Z0 , FR_LAND , SOILTYP , SSO_STDH , SSO_GAMMA ,
 SSO_THETA , SSO_SIGMA , ROOT , PLCOV , RLAT , R_LON ,
 PLCOV_MX , PLCOV_MN , FOR_E , FOR_D , LAI_MX , LAI_MN

Es ist für die Zukunft geplant, den Pflanzenbedeckungsgrad aus Satellitendaten (NDVI-Index) abzuleiten. Die Wurzellänge ROOT unterliegt in den Aussertropen einem empirischen Jahresgang.

10.3 Datenbank r128a (GME-Analysen im geographischen Gitter, Hauptlauf)

Die Datenbank **ty=r128a dbase=gme id=routarz rty=m rki=routi** enthält **die uninitialisierten Analysen** des GME für die Analysentermine 00, 12 und 18 UTC des Hauptlaufs (rty = m)ain)).

Die Datenbank enthält je Termin folgende 257 Felder (siehe Tab. 8.2, 8.3 und 8.6):

T , U , V , QV , QC (31 Modellschichten)

PS (auf Meeresniveau reduziert)

PS , T_SNOW , T_S , T_G , T_M , QV_S ,
 W_SNOW , W_I , W_G1 , W_G2 , ROOT , PLCOV ,
 U_10M , V_10M , T_2M , TD_2M , T_CL

T , U , V , RELHUM , OMEGA, FI (14 Druckflächen)
 (1000, 950, 900, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 50, 30 hPa)

10.4 Datenbank r128f (GME-Vorhersagen im geographischen Gitter, Hauptlauf)

Die Datenbank **ty=r128f dbase=gme id=routarz rty=m rki=routi** enthält die Vorhersagen des GME im geographischen Gitter der Maschenweite $\Delta\lambda = \Delta\phi = 0.75^\circ$ (= 480*241 Gitterpunkte) für die Hauptläufe (rty = m(ain)) von 0h bis 174h ausgehend von **00** und **12 UTC**, sowie von 0h bis 48h ausgehend von **18 UTC**.

Die Datenbank enthält je Termin die folgende 167 Felder (siehe Tab. 8.5 – 8.7):

Für $vv \geq 0h$ mit $\Delta = 3h$ von 0 – 174h (bzw. 48h):

PS (auf Meeresniveau reduziert)

T, U, V, FI, RELHUM, OMEGA (21 Druckflächen)

PS	, T_G	, T_M	, QV_S	,		
W_SNOW	, W_I	, W_G1	, W_G2	,		
ASOB_S	, ATHB_S	, ASOB_T	, ATHB_T	,		
RAIN_GSP	, SNOW_GSP	, RAIN_CON	, SNOW_CON	,		
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	, HZEROCL			

Die Felder TMIN_2M, TMAX_2M und VMAX_10M sind nur im 6-stündigen Intervall von $vv=6h$ bis $vv=174h$ gespeichert, weil sie Extremwerte über die vergangenen 6 Stunden sind.

T, U, V, FI, RELHUM und OMEGA sind für 21 Druckflächen definiert (LVTYP = 100; folgende 21 Druckflächen werden z. Z. bereitgestellt:

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

Gesamtmenge der Daten für eine GME-Vorhersage ausgehend von 00 oder 12 UTC:

$(59*(6*21 + 38) + 29*3)*0.333 \text{ MByte} = 9763*0.232 \text{ MByte} = \mathbf{2.27 \text{ GByte}}$.

Achtung:

Von den 21 Druckflächen werden nur 13 (50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 700, 850, 925, 950 und 1000 hPa) archiviert, die restlichen werden am Folgetag wieder aus der Datenbank entfernt.

11 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. 3100 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.

11.1 Externe Parameterfelder (LV TYP=1)

Die folgenden Felder sind z.T. zeitunabhängig und deshalb als konstante Felder (D=000000) 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; 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.

FR_LAND: Landanteil innerhalb des Gitterquadrates; hergeleitet aus demselben hochauflösenden Datensatz. Die Werte liegen zwischen 0 und 1. Im GME werden Gitterpunkte mit $FR_LAND \geq 0.5$ als Landpunkte behandelt.

SOILTYP: Bodentyp; SOILTYP gibt die vorherrschende Bodenart im Gitterelement an und ist für beide 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 gegen die Schwerkraft halten kann. In der 10 cm dicken oberen 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 25 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%). Z. Z. gibt es keinen Jahresgang. Es ist geplant, einen aktuellen Pflanzenbedeckungsgrad aus Satellitendaten (NDVI-Index) bereitzustellen.
Achtung: PLCOV_MX (Pflanzenbedeckungsgrad in der Vegetationsphase) und PLCOV_MN (Pflanzenbedeckungsgrad in der Ruhephase) sind in der Einheit 0 bis 1!
- ROOT: Wurzeltiefe; ein Parameter, der für den Wassertransport aus der mittleren Erdbodenschicht in die Atmosphäre wichtig ist. In den Aussertropen unterliegt ROOT einem empirischen Jahresgang mit etwa 12 cm im Winter und 90 cm im Sommer. Deshalb wird ROOT auch in den Vorhersagebanken unter VV = 0h abgelegt.
- 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.
- 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.
- RLAT : Geographische Breite („latitude“) der GME-Gitterpunkte ($N > 0$).
- RLON : Geographische Länge („longitude“) der GME-Gitterpunkte ($E > 0$).

11.2 Bodenfelder (LV TYP=1)

- T_SNOW: Temperatur der Schneeoberfläche.
- T_S: Temperatur an der Grenzfläche Boden-Atmosphäre bzw. Boden-Schneeuntergrenze.
- T_G: Temperatur der Unterlage; in der Turbulenzparametrisierung der Prandtl-schicht beeinflusst die Temperaturdifferenz zwischen T_G und der Temperatur der untersten Modellschicht ($j_3 = i_3e$) die Intensität der vertikalen Flüsse.

Für Landgitterpunkte ohne Schnee und für Wassergitterpunkte ist $T_S = T_SNOW = T_G$. 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 $m H_2O$ (**Achtung:** Im GRIB-Code hat W_SNOW die Einheit: $mm H_2O$) gegeben ist. Die Temperatur T_G an der Untergrenze der Atmosphäre ist damit ein gewogener Mittelwert:

$$T_G = T_SNOW + f_no_snow * (T_S - T_SNOW) \quad \text{für } W_SNOW > 0$$

$$T_G = T_SNOW = T_S \quad \text{für } W_SNOW = 0$$

Ist über Wasser $T_G < -1.8^\circ\text{C}$ ($= 271.35 \text{ K}$), so wird dieser Punkt als eisbedeckt angesehen und die Rauigkeitslänge $Z0$ auf einen sehr kleinen Wert gesetzt.

T_M : Temperatur an der Obergrenze der mittleren Bodenschicht (etwa 9 cm tief).

T_CL : Temperatur an der Untergrenze der mittleren Bodenschicht (etwa 41 cm tief).

Die Dicke der oberen und mittleren Bodenschicht hängt von der Wärmeleitfähigkeit des Bodentyps $SOILTYP$ ab und beträgt etwa 9 cm bzw. 32 cm bei mittlerer Leitfähigkeit. An Wasserpunkten sind T_M und T_CL bedeutungslos.

T_CL ist ein Feld, das während der Vorhersage konstant gehalten wird. Dies läuft für die Temperatur auf eine "unendlich" dicke untere Bodenschicht hinaus. T_CL wird aus den Werten der Klima-Datenbank (siehe Kap. 9.2) abgeleitet.

$Z0$: Rauigkeitslänge.

Über Land ist $Z0$ konstant und hängt nur von der subskaligen Rauigkeit und der Art der Vegetation ab; maximale Werte liegen bei 25 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 ($D=000000$) 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 Sättigungfeuchte (bezogen auf Wasser, auch 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; das Modell unterscheidet nicht zwischen den verschiedenen Schneearten. Im Fall von lockerem Pulverschnee ist die Schneehöhe etwa $10 * W_SNOW$ (in mm), bei schwerem Pappschnee oder festem Altschnee erheblich geringer.
Für Wassergitterpunkte ist $W_SNOW = 0$.

W_I : Wassergehalt des Interzeptionsspeichers; er enthält die Tautropfen, den Reif und die an den Oberflächen haftenden Regentropfen bis zu einem Maximalwert, der vom Pflanzenbedeckungsgrad $PLCOV$ abhängt.
Für Wassergitterpunkte ist $W_I = 0$.

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 $ROOT$) mit zu erfassen. Die maximal möglichen Werte von W_G1 und W_G2 hängen vom Bodentyp $SOILTYP$ ab.
Für Wasserpunkte sind W_G1 und $W_G2 = 0$.

W_CL:	Wassergehalt der unteren Bodenschicht; W_CL ist ein "klimatologischer" Wert, der aus weltweitem Beobachtungsmaterial abgeleitet wurde und mit großer Ungenauigkeit behaftet ist. W_CL wird während der Vorhersage konstant gehalten und z.Z. nicht genutzt, weil im GME kein Feuchtefluss von der unteren in die mittlere Bodenwasserschicht erlaubt wird. Für Wassergitterpunkte ist $W_CL = 0$.
RAIN_GSP:	Regen (skaliger Niederschlag);
SNOW_GSP:	Schnee (skaliger Niederschlag);
RAIN_CON:	Regen (konvektiver Niederschlag);
SNOW_CON:	Schnee (konvektiver Niederschlag);

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 200s) gefallene Menge.

11.3 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 30 - 34 m über Grund) und den Bodenwerten mittels der Beziehungen der Prandtlschicht abgeleitet. Die bodennahen Felder gelten für die Annahmen eines einheitlichen Modell-Erdbodens 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. Diese 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 30 - 34 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 6 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 +12 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 6 Stunden. Der gültige Zeitbereich ist in der Product Definition Section ipds(17), ipds(18) angegeben (siehe Kap.11). Der Extremwert für VV=18 bezieht sich beispielsweise auf den Zeitpunkt von +12 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.

11.4 Kenngrößen der Bewölkung

BAS_CON:	Flächenindex der Basis der Konvektionswolken.
TOP_CON:	Flächenindex der Obergrenze der Konvektionswolken. 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 bzgl. Meeresniveau.
HTOP_CON:	Höhe (Einheit: m) der Obergrenze der Konvektionswolken bzgl. Meeresniveau.
HTOP_DC:	Höhe (Einheit: m) der Obergrenze der trockenen Konvektion bzgl. 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. Achtung: 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 hohen Wolken (Einheit: %), 0 bis 400 hPa.
 CLCM: Bedeckungsgrad mit mittelhohen Wolken (Einheit: %), 400 bis 800 hPa.
 CLCL: Bedeckungsgrad mit niedrigen Wolken (Einheit: %), 800 hPa bis zum Boden.

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 = 31)
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 = 128, nd = 10, i3e = 31)
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 ($D=000000$ 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.

11.5 Atmosphären-Felder

U, V:	Zonale (U) bzw. meridionale (V) 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.
CLC:	Wolkenbedeckungsgrad in jeder Modellschicht, skalig, subskalig und konvektiv. Ist $QC > 0$, so ist $CLC = 1$, ansonsten wird aus der relativen Feuchte und Konvektionskenngrößen ein (empirischer) partieller Bedeckungsgrad bestimmt.
FI:	Geopotential Achtung: FI ist an den Schichtgrenzen (lvtyp = 109) definiert!

11.6 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 zeitliche Mittel 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 ψ 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:

Das Mittelungsintervall ist bei den Monatsmittelfeldern des GME (siehe Kap. 9.7) anders definiert; bei diesen Feldern gilt die Mittelung direkt für das Zeitintervall von t_1 bis t_2 . Für alle anderen zeitlich gemittelten GME-Felder ergibt sich der Mittelwert von ψ im Zeitintervall von t_1 bis t_2 aus:

$$\begin{aligned} \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \psi \, dt &= \frac{1}{t_2 - t_1} \left[\int_0^{t_2} \psi \, dt - \int_0^{t_1} \psi \, dt \right] = \\ &= \frac{1}{t_2 - t_1} \left[t_2 \bar{\psi}(t_2) - t_1 \bar{\psi}(t_1) \right]. \end{aligned}$$

Die Globalstrahlung GLOB am Erdboden lässt sich näherungsweise (unter Vernachlässigung der Rückstreuung durch Bewölkung) aus der Albedo (ALB_RAD) und der kurzwelligen Strahlungsbilanz am Erdboden (ASOB_S) berechnen.

$$\text{GLOB} = \text{ASOB_S} / (1 - \text{ALB_RAD})$$

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

Achtung: ALB_RAD ist ein Momentanwert, ASOB_S ist ein zeitlicher Mittelwert!

11.7 Wetterinterpretation (ww)

Basierend auf den Vorhersagefeldern des GME wird in einem von FE 15 bereitgestellten Anschlussverfahren eine objektive Wetterinterpretation (Feld ww, siehe Tab. 8.6 (4)) 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.

12 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, Tabellennummer, Schicht, Referenzzeit, Vorhersagezeit, etc.) und der Grid Description Section GDS zur Erkennung des Gittertyps. Das Entgribungsprogramm **grbin1** der **dwlib** 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 Ty	Bedeutung	Typkennung ipds(4)	Gittertyp igds(4)
i128a	Analyse des GME auf dem Dreiecksgitter (ni=128)	149	192
i128f	Vorhersage des GME auf dem Dreiecksgitter (ni=128)	150	192
r128a	Analyse des GME interpoliert auf geographisches Gitter	159	0
r128f	Vorhersage des GME interpoliert auf geographisches Gitter	160	0

Als Beispiel für den Inhalt der PDS dient der auf Meeresniveau reduzierte Bodendruck für den 20.07.1998 00UTC +12h, der am 20.07.1998 um 4.14 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 tab , WMO-Tabelle: tab = 2, zusätzlich nationale Tabellen tab = 201, 202 und 203
3	5	78	Stationskennung (Erzeuger des GRIB-Feldes), DWD-RZ: 78
4	6	149 (i128a) 150 (i128f) 159 (r128a) 160 (r128f)	Typ-Kennung ty , 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 ee , siehe Tab. 8.1 bis 8.7 in diesem Text; Achtung, zusätzlich Tabellennummer tab (s.o.) beachten.
8	10	102	Level-Typ lvtyp , siehe Tab. 12.3 (s. u.)
9-10	11-12	0	Schichtkennung, abhängig von lvtyp , die Schicht wird mit lv (level) oder lvt (level top) angesprochen.
11	13	98	Jahr (für 2000: ipds(11) = 100) Referenzdatum
12	14	7	Monat des GRIB-Feldes:
13	15	20	Tag Starttermin der
14	16	0	Stunde Vorhersage oder
15	17	0	Minute Analysentermin
16	18	1	Zeiteinheit (tui) für P1/P2, siehe Tab. 12.4 (s. u.)
17	19	12	Vorhersagezeitraum 1 (P1, VV); abhängig von ipds (19)
18	20	0	Vorhersagezeitraum 2 (P2); abhängig von ipds (19)
19	21	0	Zeitflag (tflag), 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	20	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	200	Zeitschritt (in s) des Modells
40	46	255	Entschlüsselungskennung (RUS1 oder RUS2)
41	47	255	Zusatzelementnummer
42	48	98	Jahr Erstellungsdatum
43	49	07	Monat des GRIB-Feldes
44	50	20	Tag
45	51	4	Stunde
46	52	14	Minute
47	53-54	1	Versionsnummer: 1 für GME-Hauptlauf, 32769 für GME-Assimilationslauf

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

lvtyp = 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 (Obergrenze)	j3 + 1 (Untergrenze)
111	Fläche im Boden	0	Tiefe z in cm
112	Schicht im Boden	z _o (cm) (Obergrenze)	z _u (cm) (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)		

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	288	Länge der GDS (in Byte/Oktets), mit den Vertikalkoordinatenparametern für 31 Schichten
		32	ohne Vertikalkoordinatenparameter
2	4	64	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	0	$ni3$: 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	128	$ni = 2^{ni2} * 3^{ni3}$: Anzahl der Intervalle auf einer großen Dreiecksseite der Länge ~ 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
26-89	33-288	gepackte Vertikalkoordinatenparameter (64 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 32 Werte der **ak** von den 32 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, j2 von West nach Ost \Rightarrow bit 2 = 0, 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 **r128a** und **r128f** sind auf dem regulären **geographischen Gitter** definiert; die Auflösung dieses Gitters ist beliebig, hier folgt in Tab. 12.9 die GDS für ein $0.75^\circ \times 0.75^\circ$ Gitter mit 480 x 241 Punkten.

Tabelle 12.9 Der Inhalt der Grid Description Section GDS des GME für Felder, die auf ein geographischen Gitter (480 x 241 Punkte) interpoliert wurden.

Index	Oktet	Inhalt	Bedeutung
1	1-3	288 32	Länge der GDS (in Byte/Oktets), mit den Vertikal-Koordinatenparametern für 31 Schichten Ohne Vertikalkoordinatenparameter
2	4	64	Anzahl der Vertikalkoordinatenparameter ($i3e + 1$)*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	480	Anzahl der Gitterpunkte entlang eines Breitenkreises
6	9-10	241	Anzahl der Gitterpunkte entlang eines Längenkreises
7	11-13	-90000	geographische Breite des 1. Gitterpunktes in 10^{-3} Grad; $\varphi_s = 90.0^\circ\text{S}$
8	14-16	0	geographische Länge des 1. Gitterpunktes in 10^{-3} 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^{-3} Grad; $\varphi_e = 90.0^\circ\text{N}$
11	21-23	359250	geographische Länge des letzten Gitterpunktes in 10^{-3} Grad; $\lambda_e = 0.75^\circ\text{W} = 359.25^\circ\text{E}$
12	24-25	750	Breiteninkrement in 10^{-3} Grad; $\Delta\varphi = 0.75^\circ$
13	26-27	750	Längeninkrement in 10^{-3} Grad; $\Delta\lambda = 0.75^\circ$
14	28	64	Flag bzgl. der Reihenfolge der Abspeicherung der Gitterpunkte ('scanning mode'); WMO GRIB-Tab. 8
15-18	29-32	0	reserviert
26-89	33-288	gepackte Vertikalkoordinatenparameter (64 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 (erhältlich bei TI 12) zu entnehmen.

13 Holen und Entpacken von GME-Feldern aus ORACLE-Datenbanken

Es gibt mehrere Möglichkeiten, die GRIB1-Felder des GME aus den ORACLE-Datenbanken zu holen und weiterzuverarbeiten. Wir unterscheiden zwei Varianten:

13.1 Holen und Entpacken in zwei getrennten Schritten

- Holen der GRIB1-Felder mit dem Script **csobank** in eine Datei (uegabe-file, z.B. GMEgrib),
- Einlesen und Entpacken mit einem FORTRAN-Programm (als Beispiel s.u. getgrb1.f)

13.2 Holen und Entpacken in einem FORTRAN Programm

Hierbei gibt es zwei Möglichkeiten:

- Erzeugung einer Datei mit GRIB1-Feldern mit dem Aufruf des Unterprogramms **csodaba** und weiteres Vorgehen wie im Beispielsprogramm getgrb1.f, d.h. Aufruf der Unterprogramme **copen**, **cuegin**, **grbin1**, **cclose**.
- Nutzung der sogenannten **Array-Schnittstelle** der ORACLE-Datenbank, die ebenfalls über Aufrufe der Client-Server-Bank **csodaba** (mit **arr=j** im Datenbankauftrag) erfolgt; hierbei entfallen die Aufrufe von **copen**, **cuegin**, **cclose** (als Beispiel s.u. read_gme_fields).

Um genauere Informationen über die Funktionsweise der ORACLE-Datenbanken zu erhalten, empfiehlt es sich, auf dem Routineserver rus2 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 getgrb1
!
! 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=128,i3e=45,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 = 90000 )
!
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 DWDLIB
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
!
=====
!
! Vorbesetzen 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 fopen(mui,ypath,ymod,mierr)
!
IF ( mierr .NE. 0 ) THEN
print *, ' ERROR: fopen'
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

Das folgende Programm erläutert die Nutzung der Array-Schnittstelle der ORACLE-Datenbank auf einem 32-Bit-Rechner (rus2).

```

PROGRAM read_gme_fields
!
!
IMPLICIT NONE
!
CHARACTER :: par_all*167,par_open*45,date_gme*10
CHARACTER :: par*35
CHARACTER :: vv*3
INTEGER   :: nds,i,j
REAL, ALLOCATABLE, DIMENSION (:) :: ds_gme

nds      = 166410          ! Length of GME field on triangular grid

ALLOCATE (ds_gme(nds)) ! Allocate space for unpacked GME field

date_gme = '1998072200' ! Initial date of forecast

!
! Open connection to GME-ORACLE Data base and get GME field on
! the triangular model grid;
! The GME field asked for is the 12-h forecast of the total cloud cover
! CLCT (ee=71, tab=2)

par_open = 'ak=nix,dbase=gme,id=routarz,rki=routi,ty=i128f,unload=n'

par_all  = 'ak=re,dbase=gme,d='//date_gme//',vv=12,ee=71,
1         tab=2, arr=j,pr=2'

CALL get_dataset(par_all, par_open, nds, ds_gme)

END PROGRAM
SUBROUTINE get_dataset(par_all, par_open, nds, ds)
!
! This SUBROUTINE opens an ORACLE data base and gets GRIB1 fields
!
! Input:
! par_all*167:      Control string for csobank to get fields
! par_open*45:     Control string for csobank to open data base
! nds:             Length (INTEGER) of unpacked field
! ds_gme:         Unpacked GRIB field (REAL)
!
!
IMPLICIT NONE

CHARACTER :: par_all*167,par_open*45
!
! Local storage
!
REAL      :: undef      ! Value at undefined grid points
LOGICAL   :: lfirst     ! Indicator for first execution of subroutine
DATA      lfirst       / .true. /
SAVE      lfirst

!
! Packed GRIB1 field (iblock)
! Product Definition Section (iwpds), Grid Description Section (iwgds),
! Bit Map Section (iwbms), Binary Data Section (iwbds)
!
!
INTEGER   :: ndims,nblock,nwbmap,nwpds,nwgds,nwbms,nwbds,ndsup
INTEGER   :: ihits,irm,idim,ilen,nds,irm,iednr,i

```

```

INTEGER, ALLOCATABLE, DIMENSION (:)  ::
1      idims,iblock,ibmap,ipds,igds,ibms,ibds
REAL,   ALLOCATABLE, DIMENSION (:)  :: dsup
REAL,   DIMENSION (nds)  :: ds

undef  = -1.E10
ndims  = 20
nblock = 90000
nwbmap = 1875
nwpds  = 321
nwgds  = 626
nwbms  = 3
nwbds  = 11
ndsup  = 73
ilen   = nblock * 4    ! 4 Byte per word (32-Bit computer)
idim   = nblock * 4

ALLOCATE (idims(ndims),iblock(nblock),ibmap(nwbmap),ipds(nwpds))
ALLOCATE (igds(nwgds),ibms(nwbms),ibds(nwbds),dsup(ndsup))

idims(1) = nwpds
idims(2) = nwgds
idims(3) = nwbms
idims(4) = nwbds
idims(5) = nwbmap
idims(6) = ndsup
idims(7) = nds
idims(8) = nblock
idims(9) = 0
idims(10) = 0

!
! Connect to GME data base (only once!)
!
IF (lfirst) THEN
  CALL CSODABAN (par_open, ihits, irm, idim, ilen, iblock)
  PRINT *, 'Open GME data base:'
  PRINT *, 'ihits= ', ihits
  PRINT *, 'irm= ', irm
  PRINT *, 'idim= ', idim
  PRINT *, 'ilen= ', ilen
  lfirst = .false.
ENDIF

!
! Get GME GRIB1 field into array 'iblock'
!
CALL CSODABAN (par_all, ihits, irm, idim, ilen, iblock)

PRINT *, 'get GME field:'
PRINT *, 'ihits= ', ihits
PRINT *, 'irm= ', irm
PRINT *, 'idim= ', idim
PRINT *, 'ilen= ', ilen

!
! De-GRIB the GME field, the unpacked data is in array 'ds'
!
CALL GRBIN1 (iednr, undef, ndims, idims, iblock, ibmap, ipds,
1      igds, ibms, ibds, dsup, ds, irm)

!
PRINT *, 'Unpack GME field:'
PRINT *, 'irm = ', irm
PRINT *, 'ee = ipds( 7)', ipds( 7)
PRINT *, 'tab = ipds( 2)', ipds( 2)

```



```

PRINT *, 'lvtyp = ipds( 8)', ipds( 8)
PRINT *, 'lv     = ipds(11)', ipds(11)
PRINT *, 'p1    = ipds(17)', ipds(17)
PRINT *, 'p2    = ipds(18)', ipds(18)

DEALLOCATE (idims, iblock, ibmap, ipds)
DEALLOCATE (igds, ibms, ibds, dsup)

END SUBROUTINE get_dataset

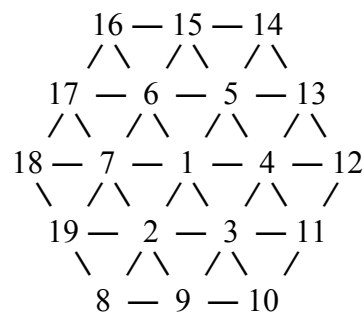
```

Für den Zugang zu den ORACLE-Datenbanken benötigt der Nutzer eine Validierung, die bei TI 12 beantragt werden muss.

14 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 (≥ 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 Gitterpunktsreihen (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 ($= 1 \dots 166410$ für $n_i=128$)
 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:

ni = 128 ! horizontale Auflösung
 CALL make_gme_grid (ni)

Auf den Rechnern RUS2 und COS2 befindet sich jeweils in dem Katalog

~for0adm/gmegpi

ein Beispielprogramm MAIN_GPI.f, das die Anwendung erläutert.

Dort sind auch weitere Informationsdateien abgelegt. Der Katalog "obj" enthält übergangsweise die Objektdateien, die dazu geladen werden müssen.

Das Programmpaket enthält weiterhin das Binary **GMEGPI**, das für den interaktiven Gebrauch gedacht ist und ebenfalls im Katalog ~for0adm/gmegpi abgelegt ist.

Nach Aufruf von **GMEGPI** müssen nacheinander

- ** die Anzahl der gewünschten Punkte/Stationen
- ** Länge und Breite dieser Punkte
- ** und Anzahl der Umgebungspunkte (1, 7 oder 19)

eingegeben werden:

```
**Aus-/Eingaben am Bildschirm nach Aufruf von GMEGPI

Triangular grid for ni= 128  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
```

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:

** Inhalt der Datei *outliste*:

 ***** Gitterpunktsinformation GME *****

Auflösung: ni= 128

Station: Laenge = 10.
 Breite= 45.

Anzahl der Umgebungspunkte: 7

6 5
 7 1 4
 2 3

Punkt liegt in Dreieck:
 1 - 5 - 6

N	GP	j1	j2	jd	lon	lat	distance [km]	height [gpm]	LSM [0-1]
1	8037	38	63	1	9.936	44.780	24.89	348.06	0.989
2	8038	39	63	1	9.454	44.335	85.65	465.12	0.670
3	8166	38	64	1	10.265	44.261	84.80	742.18	0.991
4	8165	37	64	1	10.752	44.703	67.87	112.81	0.987
5	8036	37	63	1	10.425	45.224	41.62	53.57	0.962
6	7908	38	62	1	9.601	45.299	45.62	80.38	0.954
7	7909	39	62	1	9.118	44.851	71.38	416.89	0.975

 ***** Gitterpunktsinformation GME *****

Auflösung: ni= 128

Station: Laenge = -50.
 Breite= -60.

Anzahl der Umgebungspunkte: 7

6 5
 7 1 4
 2 3

Punkt liegt in Dreieck:
 1 - 3 - 4

N	GP	j1	j2	jd	lon	lat	distance [km]	height [gpm]	LSM [0-1]
1	152655	47	23	10	-50.394	-60.114	25.27	0.03	0.000
2	152656	48	23	10	-50.750	-59.556	64.81	0.03	0.000
3	152784	47	24	10	-49.664	-59.680	40.32	0.03	0.000
4	152783	46	24	10	-49.289	-60.235	47.23	0.03	0.000
5	152654	46	23	10	-50.027	-60.671	74.63	0.03	0.000
6	152526	47	22	10	-51.144	-60.544	87.41	0.03	0.000
7	152527	48	22	10	-51.491	-59.984	82.95	0.03	0.000

15 Operationeller Ablauf

Der operationelle Ablauf gliedert sich in die *Datenassimilation* (Analysen und 6h-Prognosen für die Termine 00, 06, 12 und 18 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 18 UTC, jeweils mit einem kurzen Datenredaktionsschluss von 2h 14min). 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	12.40	00	02.40
06	13.40		
12	21.40	12	14.40
18	01.40	18	22.30

Tabelle 15.2 Erstellungstermine der GME-Vorhersagen

Termin (UTC)	Fertigstellung (UTC)						
	+24h	+48h	+72h	+96h	+120h	+144h	+168h
00	03.00	03.15	03.30	03.45	04.00	04.15	04.30
12	15.00	15.15	15.30	15.45	16.00	16.15	16.30
18	22.45	23.00					

Die GME-Rechnungen werden auf der Cray T3E durchgeführt, und die GRIB1-Felder werden gleichzeitig auf dem Datenbank-Server in die ORACLE-Datenbanken eingebracht.

Achtung:

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.

16 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, 1997: The nonhydrostatic limited-area model LM (Lokal-Modell) of DWD. Part I: Scientific Documentation. Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach, March 1997.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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", 3rd Ed., McGraw-Hill, London, pp. 164-167.