

METRAS-PCL
- Version 5.0.0 -
Benutzerhandbuch

K. Heinke Schlünzen, Ronny Petrik,
David Grawe

Meteorologisches Institut, CEN
Universität Hamburg
Bundesstr. 55
20146 Hamburg

3. Februar 2017

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	II
Tabellenverzeichnis.....	III
Vorwort.....	1
1 Kurzbeschreibung des Modells	4
1.1 Modellgleichungen und Approximationen	4
1.2 Parametrisierte subskalige Prozesse	5
1.3 Randbedingungen.....	6
1.4 Anfangswerte und Initialisierung.....	7
1.5 Diskretisierung und Lösungsverfahren.....	7
1.6 Gitterprojektion.....	8
1.7 Modellanwendungen und Validierung	9
2 Anwendungsbereiche des Modells und allgemeiner Ressourcenverbrauch	11
3 Installation von METRAS-PCL und Laufzeitkonfiguration	13
3.1 Systemvoraussetzungen	13
3.2 Installation und Auslieferungsumfang	13
3.3 Laufzeitkonfiguration.....	13
3.3.1 Festplattenspeicher.....	14
3.3.2 Laufende Anwendungen / Energieverwaltung.....	14
3.3.3 Anzahl der verwendeten Threads (OMP_NUM_THREADS / OMP_DYNAMIC).....	14
3.3.4 Effizienz von OpenMP Programmen	15
3.3.5 Multithreading.....	15
3.3.6 Arbeitsspeicher und Umgebungsvariable <code>STACK_SIZE</code>	16
3.3.7 Umgebungsvariablen <code>OMP_STACKSIZE</code> und <code>KMP_STACKSIZE</code>	16
3.3.8 Virtueller Speicher.....	17
4 Ein- und Ausgabedateien.....	19
4.1 Überblick.....	19
4.2 Eingabedateien.....	22
4.2.1 Modellsteuerung.....	22
4.2.2 Topographiedaten.....	29
4.2.3 Restartdatei.....	32
4.3 Ausgabedateien.....	33
4.3.1 Laufzeitprotokoll.....	33
4.3.2 Formatgebundene Modellergebnisse.....	40
4.3.3 Modellzustand (binäre Datei für Restart).....	44

4.3.4	Zeitreihen an verschiedenen Kontrollpunkten.....	45
4.3.5	Zeitreihe mittlerer Werte.....	46
5	Vorbereitung und Durchführung einer Modellrechnung.....	47
5.1	Schritt 1: Laufverzeichnis erstellen.....	47
5.2	Schritt 2: Modellgebiet und Gitter festlegen	47
5.3	Schritt 3: Topographiedaten verwenden	47
5.4	Schritt 4: Meteorologische Eingabedaten festlegen	48
5.5	Schritt 5: Steuerdatei erstellen	48
5.6	Schritt 6: Modellrechnung starten.....	49
5.6.1	Kaltstart.....	49
5.6.2	Warmstart (Restart).....	49
6	Beispielrechnung.....	51
Anhang I	Kurzreferenz der Namelistvariablen.....	53
Anhang II	Liste der Ausgabegrößen.....	55
Anhang III	Liste der Fehlermeldungen.....	60
Anhang IV	METRAS-PCL Oberflächenbedeckungsklassen	74
Anhang V	Ergänzende Hinweise.....	76
Literatur.....		77

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	: Im Modell verwendetes Gitter.....	8
Abbildung 2	: Ein- und Ausgabedateien von METRAS-PCL	19
Abbildung 3	: Anfang einer Topographiedatei.....	30
Abbildung 4	: Beginn des Laufzeitprotokolls.....	34
Abbildung 5	: Informationen zur Rechengenauigkeit im Laufzeitprotokoll.	34
Abbildung 6	: Informationen zu den balancierten Anfangswerten (1D Initialisierungsphase) im Laufzeitprotokoll.....	35
Abbildung 7	: Informationen zur Initialisierung des 3D-Modells im Laufzeitprotokoll.....	36
Abbildung 8	: Ausgabe einiger Kontrollgrößen für die 3D-Simulation im Laufzeitprotokoll.	37
Abbildung 9	: Informationen zu den verwendeten Modellzeitschritten im Laufzeitprotokoll.	38
Abbildung 10	: Informationen zu Ausgabezeitpunkten im Laufzeitprotokoll.	39
Abbildung 11	: Informationen zum Modellauf am Simulationsende im Laufzeitprotokoll....	40
Abbildung 12	: Beispiel für Ausgaberecords in der Ergebnisdatei.....	42
Abbildung 13	: Beispielhafte Werte für A-Records in der Ergebnisdatei.....	44
Abbildung 14	: Beispiel einer Zeitseriendatei.....	45

Abbildung 15: Beispiel einer Zeitserie mittlerer Werte. Im Beispiel betrachtete Zeile ist hervorgehoben.....46

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Parameter der in METRAS-PCL verwendeten Projektion.....	9
Tabelle 2: Ressourcenverbrauch und empfohlene Einstellungen des Linux ENVIRONMENTS unter Berücksichtigung verschiedener Rechengitter. Der Festplattenspeicher bezieht sich auf die ersten drei Ausgaben und beinhaltet auch die initialisierungsbedingten Ausgaben. Der virtuelle Speicherbedarf bezieht sich auf Simulationen unter Verwendung von einem Thread bzw. vier Threads. Bei STACK size und OMP Stack size handelt es sich um dringend empfohlene Werte für die OpenMP-Environment Variablen.....	13
Tabelle 3: Namelistvariable und ihre Verwendung in der Namelistgruppe CONTROL. In der linken Spalte sind der Name der Variablen (Namelistvariable), der Typ, der Wertebereich bzw. das Format und der ohne andere Vorgabe verwendete Standardwert (Default) angegeben. Ist der Standardwert mit „-“ angegeben, wird damit eine unter gewissen Umständen zwingend notwendige Namelistvariable beschrieben: „A“ steht für automatisch gesetzte Variable, „N“ für zwingend notwendig (Default: „-“) und „N ini“ bzw. „N res“ für eine nur bei einem Kaltstart bzw. nur bei einem Restart notwendige Namelistvariable.....	23
Tabelle 4: Namelistvariable und ihre Verwendung in der Namelistgruppe METEO mit sonst gleicher Nomenklatur wie bei Namelistgruppe CONTROL (Tabelle 3) . Bei einem Restart darf die Namelist-gruppe METEO fehlen.....	27
Tabelle 5: Kurzerläuterung der Namelistvariablen. Werte können vom Typ Zeichen ("C"), Integer ("I") oder Real ("R") sein. In Spalte W kennzeichnet „N“ die unbedingt zu deklarierende Namelistvariablen, „O“ die optional deklarierbaren Namelistvariablen. Letztere dürfen in der Steuerdatei fehlen. „N ini“ bzw. „O _ini“ kennzeichnet die Namelistvariablen, die nur bei einem Kaltstart vorgegeben werden müssen, d.h. das Programm überliest bzw. ignoriert sie beim Restart. Mit „N res“ gekennzeichnete Namelistvariable dürfen nur bei einem Restart deklariert werden.....	53

Vorwort

Das mesoskalige Transport-, Chemie- und Strömungsmodell METRAS ist im Rahmen verschiedener, öffentlich geförderter Forschungsprojekte und durch die Universität Hamburg vom Meteorologischen Institut der Universität Hamburg (Ursprungsversion des Modells) gemeinsam mit dem Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven, dem Institut für Troposphärenforschung in Leipzig, der Universität Birmingham sowie der Ozean Universität von China entwickelt worden.

Im Rahmen des vom Umweltbundesamt geförderten FuE Projektes mit der Kennung FKZ 3712 43 241 wurde auf Basis von METRAS eine neue, unter Linux lauffähige Anwenderversion METRAS-PCL entwickelt. METRAS-PCL wird als ausführbares Programm allgemein, für Forschungsprojekte auch mit Quellcode, verfügbar gemacht. Das METRAS-PCL in seiner hier ausgelieferten Version 5.0.0 wurde auf Basis der neuesten für wissenschaftliche Anwendungen genutzten Version von K. Heinke Schlünzen, Ronny Petrik, Volker Reinhardt und David Grawe (Meteorologisches Institut, CEN, Universität Hamburg) entwickelt. Das Programm METRAS-PCL ermöglicht nicht nur den Universitäten und Forschungseinrichtungen mit Großrechnerumgebung mesoskalige Simulationen durchzuführen, sondern auch einem breiten Anwenderkreis, der in der Regel nur Zugang zu Linux-PCs (seltener Workstations) hat. Die aktuelle Version METRAS-PCL 5.0.0 ist ausschließlich unter Linux lauffähig.

Für die Entwicklung der neuesten Version von METRAS-PCL wurden folgende Prämissen gesetzt:

1. Die Entwicklung erfolgte unter Berücksichtigung der Richtlinien VDI 3783 Blatt 7 (Evaluierung; VDI, 2016a) und VDI 3783 Blatt 8 (Turbulenz; VDI, 2016b).
2. Die Ergebnisse der Rechnungen mit METRAS-PCL können als Eingabedaten für Ausbreitungsmodelle genutzt werden.
3. Die Anwendung des Modells wurde möglichst einfach gehalten, das heißt die Fehlermöglichkeiten durch unsachgemäßen Gebrauch wurden reduziert und die Fehlermeldungen informativer formuliert. Somit können auch jene Benutzer mit dem Modell arbeiten, die zwar Modellerfahrung besitzen, aber nicht über Erfahrungen in der Modellentwicklungserfahrung verfügen.
4. Die Anwenderversion METRAS-PCL kann zeitnah aus der für Forschungszwecke eingesetzten Vollversion von METRAS erstellt werden, so dass neue Entwicklungen auf Wunsch des UBA den Anwendern zur Verfügung gestellt werden können.
5. Wie schon in METRAS PC 1.0, enthält die Anwenderversion nicht den vollen Umfang und nicht alle potentiellen Optionen der für Forschungszwecke eingesetzten Vollversion (beispielsweise Stofftransporte, Chemie, Nestung in großskalige Modellrechnungen). Diese Reduktion stellt sicher, dass METRAS-PCL auch auf heute gängigen Anwendersystemen sinnvoll genutzt werden kann und reproduzierbare Ergebnisse durch Nutzung identischer Modellversionen entstehen. Der Funktionsumfang berücksichtigt die Anforderungen von VDI 2783 Blatt 7 (VDI, 2016a).
6. Die möglichen Oberflächencharakteristiken sind in METRAS-PCL deutlich umfänglicher als in METRAS PC 1.0.
7. Die über VDI 3783 Blatt 7 hinausgehende Eigenschaften von METRAS-PCL, die bei ihrer Nutzung aber entsprechend VDI 3783 Blatt 7 einer zusätzlichen Evaluierung durch den Anwender bedürfen sind:
 - 7.1 Subskalige Flächennutzungen (Abschnitt 1.2, Anhang IV): diese Modelleigenschaft erlaubt in jeder Gitterzelle die Berücksichtigung der Effekte mehrere Flächennutzungen, was

insbesondere in Gelände mit sehr heterogener Oberflächenbedeckung bedeutsam ist. Die Parametrisierung ist nicht durch die VDI-Testfälle nicht direkt prüfbar, weil kein Testfall für diese Methodik explizit prüft. In den Testfällen sind aber subskalige Flächennutzungen enthalten (z.B. Testfall E6), so dass die Effekte der Parametrisierung geprüft werden. Zudem wird sie wissenschaftlich vielfach genutzt, so dass subskalig heterogenes Gelände hiermit gerechnet und Effekte besser reproduziert werden können. Eine Nutzung subskaliger Flächennutzungen in den Eingabedaten sollte dokumentiert werden. Mit dieser Parametrisierung ist METRAS-PCL auch für stadtklimatische Szenarien besser anwendbar.

- 7.2 Tagesgang (Abschnitt 1.3): Energie- und Feuchtebilanz können ebenfalls in METRAS-PCL gerechnet werden, wodurch die Modelllösungen zeitabhängig werden. Empfehlenswert ist hier insbesondere auf eine ausreichende Gebietshöhe zu achten (wenigstens 10 km), um die Einstrahlung nicht zu überschätzen.
- 7.3 Austrocknung (Abschnitt 1.4): wird mit Tagesgang gerechnet, so hängen die Lösungen von der Bodentemperatur, aber auch von der Feuchtigkeit der Böden ab. Trockene Böden werden wärmer als feuchte Böden. Über die Zahl der Trockentage kann vorgegeben werden, wie viel Tage vor der Modellrechnung es nicht geregnet hat.

METRAS-PCL ist für praktische Anwendungsaufgaben gedacht, wie sie sich z.B. für Berechnungen in der Luftreinhaltung ergeben. Trotz der allgemeinen Verfügbarkeit, der Evaluierung nach VDI-Richtlinien (VDI, 2016a), der vereinfachten Bedienung und der modellinternen Prüfung von Eingangsdaten darf METRAS-PCL nicht als Standardsoftware betrachtet werden, deren Ergebnisse ungeprüft verwendet werden können. Wie in VDI 3783 Blatt 7 ausgeführt, obliegt dem Anwender die Verantwortung, die Modellergebnisse kritisch auf Plausibilität und Realitätsnähe der Ergebnisse zu überprüfen. Insbesondere muss beachtet werden, dass selbst ein fehlerfreies Modell fehlerhaft vorgegebene Anfangswerte nicht korrigieren kann. Nicht ganz auszuschließen ist auch, dass die Lösungen z.B. aufgrund numerischer Instabilitäten fehlerbehaftet sein können. Um beides beurteilen zu können sind vertiefte meteorologische Kenntnisse und Erfahrung in der atmosphärischen Modellierung notwendig. In jedem Fall müssen die Anwender die in VDI 3783 Blatt 7 spezifizierten Testrechnungen durchführen und dieses dokumentieren.

Die Entwickler des Programms und die Mittelgeber übernehmen keine irgendwie geartete Haftung, auch keine implizite Haftung, dass das Programm für einen bestimmten Zweck fehlerfrei arbeitet. Haftung für Schäden oder Folgeschäden wird ausdrücklich ausgeschlossen. Alle Rechte an diesem Programm liegen bei den Modellautoren von METRAS-PCL. Bei Nutzung des Programms und seiner Ergebnisse, sowie bei jeder öffentlichen Darstellung der Ergebnisse ist folgende Referenz zu geben:

“Modellrechnungen wurden mit METRAS-PCL (Version 5.0.0) durchgeführt, entwickelt von K.H. Schlünzen, R. Petrik, D. Grawe, V. Reinhardt (Meteorologisches Institut, CEN, Universität Hamburg, Deutschland). Die Realisierung wurde teilweise finanziert durch das Umweltbundesamt (Dessau-Rosslau, Deutschland). METRAS-PCL beruht auf dem mesoskaligen Modell METRAS.”

¹ Englische Version: Model runs were performed with METRAS-PCL (Version 5.0.0), developed by K. H. Schlünzen, R. Petrik, D. Grawe, V. Reinhardt (Meteorological Institute, CEN, University of Hamburg, Germany). This realisation is partially funded by the Umweltbundesamt (Dessau-Rosslau, Germany). METRAS-PCL is based on the mesoscale model METRAS.

Vor der ersten Benutzung des Modells sollte sich der Anwender intensiv mit dem gesamten Handbuch auseinandersetzen. Aus diesem Grunde wurde bewusst auf das in anderen Handbüchern übliche "Kapitel für Schnelleinsteiger" verzichtet.

Im Handbuch gelten folgende Regeln zur Schreibweise:

- Feststehende Bezeichnungen (Dateinamen, Schlüsselwörter, Programmvariablen) und Programmcode sind im Schrifttyp `Courier` gesetzt.
- In Syntaxbeschreibungen sind optional vorzunehmende Einträge in `{Klammern}` gesetzt.
- *Kursivtext* bezeichnet Text, der vom Anwender zu ersetzen ist.

1 Kurzbeschreibung des Modells

Das mesoskalige Transport- und Strömungsmodell METRAS wurde am Meteorologischen Institut der Universität Hamburg entwickelt. In der für Forschungszwecke eingesetzten Version (kurz Vollversion) umfasst es die Berechnung von

- Thermo- und hydrodynamischen Prozessen
- Wolken- und Niederschlagsprozessen
- Stofftransportprozessen
- trockener und nasser Deposition
- chemischen Reaktionen
- verschiedenen Turbulenzparametrisierungen
- Parametrisierungen von Windparks, Meereis
- Kopplungen zu anderen Modellen
- Modellnestung
- Und weitere Eigenschaften

Aus Kapazitätsgründen, aufgrund von Datenzugriffsbeschränkungen, weil eine umfassende Evaluierung aller Eigenschaften aufgrund von Mängeln der Vergleichsdatensätze nicht möglich ist und unter Berücksichtigung der Anforderungen von VDI 3783 Blatt 7 ist es nicht sinnvoll, den vollen Funktionsumfang auf heute gängigen Anwendersystemen bereitzustellen. Deshalb beschränkt sich die vorliegende Version von METRAS-PCL im Wesentlichen auf die Berechnung hydrodynamischer und thermodynamischer Prozesse, wie in VDI3783 Blatt 7 vorgesehen und nimmt einige wenige für die Anwenderpraxis sinnvolle Erweiterungen auf. Durch die generische Programmierung der Vollversion lässt sich der Funktionsumfang von METRAS-PCL recht einfach erweitern.

Ausführliche Modellbeschreibungen und -anwendungen finden sich in der am Ende der Dokumentation aufgeführten Literatur. An dieser Stelle wird nur ein Überblick über die Eigenschaften von METRAS-PCL gegeben. Eine detaillierte Dokumentation aller Eigenschaften des Modells METRAS ist zu finden bei Schlünzen et al. (2012a,b).

1.1 Modellgleichungen und Approximationen

Das Modell beruht auf den physikalischen Erhaltungsgleichungen, die in Flussform dreidimensional gelöst werden. Prognostisch werden in METRAS-PCL Wind, potentielle Temperatur und spezifische Feuchtigkeit sowie die Oberflächentemperatur und Oberflächenfeuchte berechnet. Diagnostisch werden in METRAS-PCL zu jedem Zeitschritt der nichthydrostatische und der hydrostatische Druckanteil, die Temperatur, der mesoskalige Dichteanteil, die Diffusionskoeffizienten, die Schubspannungsgeschwindigkeit, die Skalengrößen für Temperatur und andere skalare Größen, die Monin-Obukhov-Länge und die Inversionshöhe ermittelt.

Die meteorologischen Größen setzen sich in METRAS aus Werten für einen als horizontal homogen und zeitlich konstant angenommen Grundzustand (z.B. Dichte ρ_0), mittleren Werten (z.B.: \bar{u} ; $\bar{\theta} = \theta_0 + \tilde{\theta}$), mesoskaligen Abweichungen (z.B.: $\tilde{\rho}$) und turbulenten Abweichungen (z.B.: u' , θ') zusammen:

$$\begin{aligned}
 u &= \bar{u} + u' \\
 v &= \bar{v} + v' \\
 w &= \bar{w} + w' \\
 \rho &= \rho_0 + \tilde{\rho} \\
 p &= p_0 + p_1 + p_2 \\
 \theta &= \theta_0 + \tilde{\theta} + \theta' \\
 q_1 &= q_0 + \tilde{q}_1 + q_1'
 \end{aligned}$$

Darin steht θ für die potentielle Temperatur und q_1 für die spezifische Feuchte. In den Modellgleichungen ist der Druckgradient des Grundzustandes durch den geostrophischen Wind (u_g, v_g) ersetzt. Der hydrostatische Druckanteil p_1 kann als "thermodynamischer", der nicht-hydrostatische Anteil p_2 als "dynamischer" Druckanteil am Gesamtdruck interpretiert werden.

Außer den in der Modellierung allgemein gültigen Näherungen (Abstand Luftpakete- Erdmittelpunkt = Erdradius, Coriolisparameter $f = \text{konst.}$ im Modellgebiet) wird zusätzlich die anelastische Approximation im Modell verwendet. Zur Berechnung der mesoskaligen Dichteabweichung wird die Boussinesq-Approximation verwendet, wobei im Auftrieb neben der Temperatur- auch die Druck- und Feuchteabweichung berücksichtigt werden, so dass auch konvektive Prozesse mit METRAS-PCL simuliert werden können. Die hydrostatische Approximation wird nur für den Grundzustand und den hydrostatischen Druckanteil p_1 als gültig vorausgesetzt. Für den nichthydrostatischen Druckanteil p_2 wird eine diagnostische Gleichung iterativ im bodenfolgenden Koordinatensystem gelöst.

1.2 Parametrisierte subskalige Prozesse

Die subskaligen turbulenten Flüsse werden in METRAS-PCL über eine Schließung 1. Ordnung parametrisiert. Um die bodennahen turbulenten Flüsse zu berechnen, wird die Monin-Obukhov-Ähnlichkeitstheorie angewendet. Innerhalb einer Oberflächenzelle können mehrere Oberflächen- und Bewuchstypen (Asphalt, Wasser, Bäume; Anhang IV) vorkommen. Um dies zu berücksichtigen, kommt die Methode der Flussmittelung zum Einsatz; verwirklicht in Form des Blendhöhenkonzepts nach (Claussen, 1991) durch von Salzen et al. (1996).

Oberhalb der bodennahen Grenzschicht (Prandtlschicht) werden die turbulenten Austauschkoefizienten mithilfe stabilitätsabhängiger Turbulenzparametrisierungen berechnet: bei neutraler und stabiler Schichtung wird ein Mischungswegansatz und bei labiler Schichtung wird ein "Counter-Gradient-Ansatz" (Lüpkes & Schlünzen, 1996) genutzt.

In METRAS-PCL werden für alle Schichtungsverhältnisse die Inversionshöhe z_i , die Vertikalwindfluktuationen $\overline{w'^2}$ und die konvektive Geschwindigkeitsskala w_* berechnet bzw. festgelegt. Die Inversionshöhe wird aus den Modellergebnissen diagnostiziert. Jene Höhe wird als Inversionshöhe angenommen, oberhalb der die Schichtung der Atmosphäre die Bedingung $\partial\theta/\partial z > 0.003 \text{ K/m}$ erfüllt, also stabil geschichtet ist. Die minimale Inversionshöhe beträgt 10 m.

Für $\overline{w'^2}$ und w_* wird bei labiler Schichtung

$$\overline{w'^2}^{3/2} = \left(1.6 u_*^2 \left(1 - \frac{z}{z_i} \right) \right)^{3/2} + 1.2 w_*^3 \frac{z}{z_i} \left(1 - 0.9 \frac{z}{z_i} \right)^{3/2}$$

mit $w_* = \left(\frac{g}{\theta_s} z_i \overline{w' \theta'} \Big|_s \right)^{1/3}$

verwendet (Lüpkes & Schlünzen, 1996).

Für $\overline{w'^2}$ und w_* wird bei neutraler Schichtung

$$\overline{w'^2} = u_*^2 \left(1 - \frac{z}{z_i} \right)^{1/2}; w_* = 0.$$

verwendet (Stull, 2012) (S. 363).

Für $\overline{w'^2}$ und w_* wird bei stabiler Schichtung:

$$\overline{w'^2} = 2.5 \cdot u_*^2 \left(1 - \left(\frac{z}{z_i} \right)^{0.6} \right); w_* = 0.$$

verwendet (Stull, 2012) (S. 363).

Bei Berechnung des horizontalen Diffusionskoeffizienten wird die Anisotropie der Gitter berücksichtigt, so dass sich für den horizontalen Diffusionskoeffizienten ergibt:

$$K_{hor} = \min \left(K_{vert} \cdot \max \left(0.71 \cdot \sqrt{(\Delta x^2 + \Delta y^2) / \Delta z^2}, 1 \right), 1000 \right)$$

Die Divergenzen der Strahlungsflüsse in der Atmosphäre sind bei wolkenlosem Himmel vergleichsweise gering und werden deshalb empirisch berechnet. Nur die Bodenenergiebilanz wird unter Berücksichtigung der Strahlungsflußdivergenzen gelöst. Die kurzwellige Einstrahlung wird zeit- und ortsabhängig am Boden unter Berücksichtigung von Bodenneigung und Abschattungseffekten durch Berge berechnet. Die Erwärmungsrate hängt vor allem von der Albedo ab, die in Abhängigkeit von den subskaligen Oberflächenbedeckungs-Charakteristiken festgelegt wird. Die langwellige Ausstrahlung entspricht einer Schwarzkörperstrahlung, die Emissivität wird als unabhängig von der Oberflächenbedeckung angenommen.

1.3 Randbedingungen

Die Randwerte werden an den seitlichen Rändern und am oberen Rand des Modellgebietes so festgelegt, dass entstehende Wellen das Modellgebiet reflektionsfrei verlassen können oder absorbiert werden. Dazu werden z.B. an den seitlichen Rändern die Normalkomponenten des Windvektors weitestgehend berechnet. Für die randnormale Advektion wird am Ausströmrand ein Upstream-Verfahren und am Einströmrand die Strahlungsrandbedingung benutzt. Für die randparallelen Komponenten des Windvektors wird an den seitlichen Rändern eine „Gradient Null“-Bedingung verwendet. Dies gilt ebenso für die prognostischen skalaren Größen.

Zur Verminderung von Störungen an den seitlichen Rändern werden die Orographiehöhen und Gitterweiten randnormal über drei skalare Gitterpunkte als konstant vorausgesetzt. Daher dürfen die Modellergebnisse in diesen Bereichen nicht ausgewertet werden.

Am Modelloberrand wird die Reflektion von Wellen durch absorbierende Schichten verhindert. In diesen erfolgt auch eine Anpassung der im Modell berechneten Windfelder und Zustandsvariablen an großskalige Werte. Aus diesem Grund dürfen die Modellergebnisse in den oberen Modellniveaus (in METRAS-PCL sind es 8) nicht ausgewertet werden.

Am Boden wird für den Wind die Haftbedingung angenommen. Temperatur bzw. Feuchte werden fest vorgegeben oder aus einer Bilanzgleichung der Energie- bzw. Feuchteflüsse am Boden nach der "Force-Restore-Methode" berechnet (Deardorff, 1978). Dazu wird der Wärmefluss am Boden proportional dem Temperaturgradienten zwischen Oberfläche und einer Schicht der Tiefe h_θ gesetzt. Die Einflüsse der unterschiedlichen Oberflächenbedeckungen werden indirekt durch entsprechend modifizierte Bodeneigenschaften berücksichtigt (Werte Anhang IV). Für Simulationszeiten von wenigen Tagen liefert die Methode recht gute Ergebnisse (Deardorff, 1978), wenn die Initialisierung der Temperatur für die Schicht in der Tiefe h_θ sinnvoll gewählt wurde.

1.4 Anfangswerte und Initialisierung

Für die Initialisierung des Modells werden in der Regel Werte für den großskaligen reibungsunbeeinflussten Wind, die Temperatur, Feuchte und den Druck am Boden sowie die Temperatur- und Feuchtegradienten als Funktion der Höhe vorgegeben. Alternativ können auch Temperatur- und Feuchteprofile vorgegeben werden. Mit diesen Anfangswerten erfolgt die Modellinitialisierung dynamisch. Mit einer eindimensionalen Version des Modells wird, wenn kein spezieller Gitterpunkt angegeben wurde, für den niedrigsten und rauesten Gitterpunkt im Modellgebiet ein stationäres Profil errechnet. Dieses wird horizontal homogen im dreidimensionalen Modell vorgegeben, in das die Orographie über die Diastrophiemethode dynamisch eingeführt wird.

Da insbesondere die Initialisierung der Bodentemperatur und Bodenfeuchte bei instationären Modellrechnungen großen Einfluss auf die bodennahen turbulenten Flüsse und die atmosphärische Grenzschicht hat, muss ein geeigneter Initialisierungswert vor jeder Simulation gefunden werden. Im Modell lassen sich dahingehend dem Initialisierungszeitpunkt vorausgehende längere Trockenphasen berücksichtigen. Vor der eigentlichen Simulation erfolgt in einem 1-dimensionalen Modell eine mehrtägige Berechnung der Austrocknung des Bodens unter vollständiger Berücksichtigung aller atmosphärischen, bodenfeuchterelevante Prozesse. Die Dauer muss in Anlehnung an die Trockenphase spezifiziert werden. Mit den daraus folgenden, angepassten Werten für die Bodenfeuchte wird die dreidimensionale Simulation gestartet.

1.5 Diskretisierung und Lösungsverfahren

Die Modellgleichungen werden in einem geländefolgenden Koordinatensystem mit höhenbasierter Koordinate η gelöst, welche durch die Transformationsvorschrift

$$\eta = z_t \frac{z - z_s(x, y)}{z_t - z_s(x, y)}$$

definiert ist. Darin bezeichnet z_t die Höhe des Modelloberrandes und z_s die Orographiehöhe. Die y-Achse des Modellgebietes kann beliebig gegen Nord orientiert sein. Die Gitterweite lässt sich in horizontaler und vertikaler Richtung nichtäquidistant festlegen. Beides ermöglicht eine feine Auflösung in den für die jeweiligen Modellrechnungen interessierenden Gebieten bei einer größeren Auflösung in weniger relevanten Bereichen des Modellgebietes. Die Gitterweite darf zwischen zwei Gitterpunkten nicht mehr als 20% variieren, um numerische Instabilitäten zu vermeiden. Die geländefolgenden Koordinaten erleichtern erheblich die Vorgabe der unteren Randbedingungen über orographisch gegliedertem Gelände.

Die horizontale und vertikale Diskretisierung der Modellgleichungen erfolgt auf einem ARAKAWA-C Gitter, d. h. skalare Feldgrößen befinden sich im Mittelpunkt einer Gitterzelle,

Windkomponenten jeweils um eine halbe Maschenweite räumlich versetzt an den Seitenflächen einer Gitterzelle. Das verwendete Gitter ist in Abbildung 1 dargestellt.

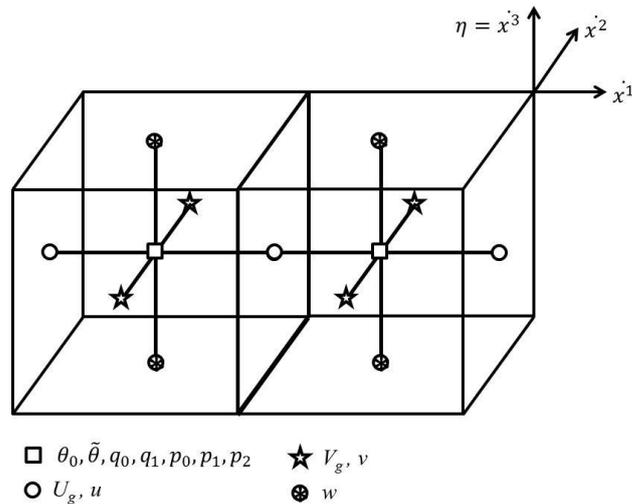


Abbildung 1 : Im Modell verwendetes Gitter.

Die einzelnen Terme der verschiedenen Bilanzgleichungen werden in METRAS-PCL mit unterschiedlichen numerischen Verfahren gelöst. Die zeitliche Integration der Erhaltungsgleichungen für Impuls erfolgt bezüglich der Advektions- und der Diffusionsterme mithilfe des Adams-Bashforth-Verfahrens. Die Coriolisterme und der Gravitationsterm (auch Auftriebsterm) werden mit dem Eulervorwärtsverfahren integriert. Die durch p_2 hervorgerufen Gradienten werden implizit gelöst. Um eine starke Einschränkung beim Zeitschritt durch vertikale Diffusionsprozesse zu verhindern, kommt hier ein semi-implizites Verfahren zum Einsatz. Für die räumliche Diskretisierung werden in den Erhaltungsgleichungen im Allgemeinen zentrierte Differenzen verwendet.

Die Bilanzgleichungen für skalare Größen werden bezüglich der advektiven Flüsse zeitlich vorwärts und räumlich mit dem Gegenstromverfahren diskretisiert. Die Quellen und Senken der skalaren Größen werden zeitlich mit dem Eulervorwärtsfahren integriert. Für die vertikalen Diffusionsprozesse wird wiederum auf ein semi-implizites Verfahren zurückgegriffen.

Die Amplituden hochfrequenter Wellen, die aufgrund nichtlinearer Wellenwechselwirkungen im Windfeld entstehen, werden in den beiden Horizontalwindkomponenten mit einem numerischen 7-Punkt-Filter reduziert. Skalare Größen werden nicht gefiltert, da das Upstreamverfahren bereits ausreichend diffusiv ist.

1.6 Gitterprojektion

Um eine räumlichen Bezug zwischen dem Rechengitter und dem geographischen Gitter herzustellen, sollte eine konisch-konforme Lambertprojektion verwendet, die bis zu einigen 1000 km Gebietsgröße relativ geringe Projektionsfehler aufweist. Die konisch-konforme Lambertprojektion ist winkeltreu, nicht aber längentreu. Je größer das Modellgebiet, desto größer wird der Abbildungsfehler, weil das Verhältnis zwischen einer Entfernung im Modellgitter und der gleichen Entfernung auf der Erde nicht mehr überall im Modellgebiet das Gleiche ist – insbesondere an den weit vom Bezugspunkt bzw. den Standardparallelen entfernten Teilen des Modellgebietes. Daher wird empfohlen, den Bezugspunkt ins Zentrum des interessierenden Teils des Modellgebietes zu legen.

Die konisch-konforme Lambertprojektion ist eine Kegelprojektion, die die Erdoberfläche auf einen Kegel abbildet. Diese spezielle Kegelprojektion verwendet zwei Schnittkreise zwischen Kugel und Kegel. Die verzerrungsfrei wiedergegebenen Breitengrade werden dann als Standardparallelen bezeichnet. Die Projektionsparameter sind für ein vorgegebenes Modellgebiet mit dem

- Ursprung der Projektion (Bezugspunkt des Modellgebietes): $lat0, lon0$,
- Nördlichsten und südlichsten Punkt im Modellgebiet: $\varphi_{max}, \varphi_{min}$

wie folgt definiert:

Tabelle 1: Parameter der in METRAS-PCL verwendeten Projektion.

Große Halbachse des Ellipsoiden (in m)	$a=6378137.00$	Bezugspunkt (Länge)	$lon0$
Abflachung des Ellipsoiden	$f=1.0/298.257223563$	Bezugspunkt (Breite)	$lat0$
Kleine Halbachse des Ellipsoiden (in m)	$(1.0 - f) a$	Längengrad der 1. Standardparallelen	$lat0 + \frac{\varphi_{max} - \varphi_{min}}{4}$
Datum	WGS84	Längengrad der 2. Standardparallelen	$lat0 - \frac{\varphi_{max} - \varphi_{min}}{4}$

Für die Erstellung des Gitters wird empfohlen, die konisch-konforme Lambertprojektion wie oben ausgeführt zu verwenden.

1.7 Modellanwendungen und Validierung

METRAS ist zur Prüfung der implementierten numerischen Verfahren mit analytischen Lösungen und zur weiteren Validierung mit Messungen und Ergebnissen anderer mesoskaliger Modelle verglichen worden (Bigalke, 1992; Dierer & Schlunzen, 2005; Grawe et al., 2013; Lüpkes et al., 2012; Ries et al., 2010; Schlunzen, 1992; Thunis et al., 2003). Die bei den Modellrechnungen genutzten Parametrisierungen und numerischen Methoden wurden detailliert untersucht (Lüpkes & Schlunzen, 1996; Schlunzen & Katzfey, 2003; Schroeder et al., 2006; Von Salzen et al., 1996; Schroeder et al., 2005; Augustin et al., 2008; Bohnenstengel & Schlunzen, 2009; Schroeder & Schlunzen, 2006; Schlunzen et al., 2011). Zudem sind speziell mit METRAS-PCL Modellanwendungen entsprechend dem Validierungskonzept von (Schlunzen, 1997) sowie der Richtlinie VDI-3783 Blatt 7 (VDI, 2016a) durchgeführt worden.

Anwendungen der Vollversion von METRAS erfolgten zur Untersuchung des Einflusses der Tide und von Topographie auf küstennahe atmosphärische Phänomene in gemäßigten Breiten (Mitteleuropa, Nordchina, Australien) und den Subtropen (Hongkong) (Fischereit et al., 2016; Schlunzen, 1990; Schlunzen et al., 1995; Wu & Schlunzen, 1992; Scheng et al., 2000). Weitere Studien mit METRAS wurden hinsichtlich der Wechselwirkung zwischen Meereis-Ozean und Atmosphäre in den polaren Breiten durchgeführt (Dierer et al., 2005; Dierer & Schlunzen, 2005; Hebbinghaus et al., 2007; Ries et al., 2010; Lüpkes et al., 2012). Ebenso wurden kleinräumige

Simulationen durchgeführt (Niemeier und Schlünzen, 1993), der Einfluss von Windkraftanlagen auf das atmosphärische Klima (Boettcher et al., 2015) und die Pollenausbreitung untersucht (Schueler et al., 2015; Buschboom et al. 2012) sowie stadtklimatologische Studien durchgeführt (Grawe et al., 2013; Schoetter et al., 2013; Sodoudi et al., 2014).

2 Anwendungsbereiche des Modells und allgemeiner Ressourcenverbrauch

Mit METRAS sind bereits verschiedene Phänomene der Mesoskala- β und Mesoskala- γ und der Mikroskala- α simuliert worden. Grenzen in der Anwendbarkeit des gegenwärtigen Modells sind vor allem durch die genutzten Parametrisierungen gegeben, die nur bis zu einigen Kilometern Gitterweitengültig sind. Bei sehr kleinen Gitterweiten (einige Dekameter) ist die Anwendbarkeit des Modells durch die verwendete Turbulenzparametrisierung und durch die auf diesen Skalen immer stärker dominierenden Strukturen wie Bäume und Gebäude limitiert, welche numerisch aufwändig und explizit behandelt werden müssten. Demzufolge sollte METRAS-PCL am besten mit horizontalen Gitterweiten zwischen etwa 100 Meter und einem Kilometer betrieben werden.

Die Gitterweiten können in alle Raumrichtungen nichtäquidistant vorgegeben werden, so dass bestimmte Untersuchungsgebiete sehr fein aufgelöst werden können. Um ein Anwachsen numerischer Fehler zu vermeiden, sollten folgende Punkte beachtet werden:

1. Die Gitterweitzunahme zwischen benachbarten Gitterpunkten darf 20% nicht überschreiten.
2. Die horizontalen Gitterweiten im Modellgebiet sollten sich um nicht mehr als eine Größenordnung unterscheiden, auch um Skalensprünge in der Auflösung zu vermeiden und meteorologische Phänomene sinnvoll aufzulösen.
3. Die Modellergebnisse enthalten bei nichtäquidistanten Gittern die entstehenden Phänomene unterschiedlich aufgelöst. Die Ergebnisse sind daher mit äußerster Sorgfalt zu interpretieren.

METRAS-PCL beinhaltet keine Wolkenparametrisierung. Es können daher nur solche meteorologischen Situationen realitätsnah berechnet werden, bei denen an keinem Punkt des Modellgebietes während des Simulationszeitraums die relative Feuchte auf mehr als 110 % anwächst. Wird dieser Wert überschritten, so wird eine Warnung in das Laufzeitprotokoll (Abschnitt 4.3.1) aufgenommen. Je höher die relative Feuchte ist, desto realitätsferner sind die Ergebnisse. Wird Sättigung (100% relative Feuchte) erreicht, so sind die Ergebnisse mit äußerster Sorgfalt zu interpretieren.

Weitere Beschränkungen in den Anwendungsmöglichkeiten ergeben sich durch die für die Simulationen eingesetzten Rechnersysteme und deren Kapazitäten in Bezug auf Arbeitsspeicher, Festplattenspeicher und Prozessoren. Die für die Installation benötigten Systemvoraussetzungen und der Ressourcenverbrauch in der Laufzeit sind in Kapitel 3 näher erläutert. Allgemein ist festzuhalten, dass in METRAS etwa 160-185 dreidimensionale Felder statisch allokiert werden mit einem Speicherplatzbedarf von 8 Byte pro Real-Zahl. Demnach werden bei einer Rechnung mit 270x270x40 Gitterpunkten etwa 4 GB Arbeitsspeicher benötigt (plus weiterer dynamisch und virtuell allokiertes Speicher, Kapitel 3). Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass die Rechenzeit des Modells von vielen Faktoren abhängt, deren summarischer Einfluss für einen bestimmten Anwendungsfall nicht prognostiziert werden kann:

- Anzahl der Gitterpunkte (überproportionales Wachsen der Rechenzeit),
- Anzahl der für einen Simulationszeitraum nötigen Zeitschritte (lineares Wachsen der Rechenzeit),
- Meteorologische Situation (wirkt sich auf die Zeitschrittlänge und Anzahl der Zeitschritte sowie die Iterationsschrittzahl des Drucklösers aus),

- Topographische Situation (wirkt sich auf die meteorologischen Felder und damit auf die Zeitschrittlänge aus).

3 Installation von METRAS-PCL und Laufzeitkonfiguration

3.1 Systemvoraussetzungen

Die folgenden Angaben beziehen sich auf die minimalen Anforderungen an das Rechnersystem:

- CPU mit z.B. Intel Prozessoren (Broadwell – 5. Generation, i5 oder i7 oder analoge bzw. bessere Prozessorleistung), mindestens 2 Kerne und 2.4 GHz oder mehr,
- mehrere GB Arbeitsspeicher,
- Betriebssystem Linux,
- Etwa 10 MB verfügbarer Plattenplatz für das Modell und die Eingangsdaten,
- mindestens mehrere GB verfügbarer Plattenplatz für die Ergebnisse der Modellrechnungen.

Genauere Angaben zum Ressourcenverbrauch im Hinblick auf spezifische Simulationsbeispiele finden sich im Abschnitt 3.3. Allgemein ist zu nennen, dass bei Modellgebieten mit vielen Gitterpunkten mehr Arbeitsspeicher, CPU-Leistung und Plattenplatz zur Verfügung gestellt werden muss als es bei kleinen Rechengittern der Fall ist. Der Speicherbedarf steigt etwa linear mit der Gesamtanzahl der Rechengitterpunkte. Die Rechenzeit steigt etwa quadratisch.

Systembefehle werden für die Shell-Umgebungen `bash` und `tcsh` angegeben. Welche Shell verwendet wird, kann mit dem Befehl `ps` geprüft werden.

3.2 Installation und Auslieferungsumfang

Das Modell wird in einem zip-Archiv bereitgestellt auf folgender Web-Seite: <https://www.mi.uni-hamburg.de/en/arbeitsgruppen/memi/modelle/metras-pcl.html>

Die Datei wird in das Installationsverzeichnis des eigenen Rechners kopiert, der Befehl

```
bash / tcsh
```

ausgeführt und die zip-Datei mit dem Befehl

```
unzip METRAS-PCL_5.0.0.zip
```

entpackt. Im Installationsverzeichnis befindet sich nun unter anderem die ausführbare Version des Programms. Es handelt sich um ein 64-Bit Programm. Außerdem befinden sich dort zwei Eingabedateien für einen ersten Simulationslauf sowie Informationen zur Lizenz.

3.3 Laufzeitkonfiguration

Die mit METRAS-PCL durchgeführten Simulationen stellen je nach Anwendung teilweise einen hohen Anspruch an die Rechnerressourcen. In diesem Abschnitt wird ein grober Überblick über die für die Simulationen nötigen Rechnerkonfigurationen gegeben. Weiterführende Informationen über die Betriebssysteme sind entsprechenden Handbüchern zu entnehmen.

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die von METRAS-PCL beanspruchten Ressourcen im Falle verschiedener Rechengitter. Genauere Informationen zu den einzelnen Werten sind den Abschnitten 3.3.1 bis 3.3.8 zu entnehmen.

Tabelle 2: Ressourcenverbrauch und empfohlene Einstellungen des Linux ENVIRONMENTS unter Berücksichtigung verschiedener Rechengitter. Der Festplattenspeicher bezieht sich auf die ersten drei Ausgaben und beinhaltet auch die initialisierungsbedingten Ausgaben. Der virtuelle Speicherbedarf bezieht

Installation von METRAS-PCL und Laufzeitkonfiguration

sich auf Simulationen unter Verwendung von einem Thread bzw. vier Threads. Bei `STACK size` und `OMP Stack size` handelt es sich um dringend empfohlene Werte für die OpenMP-Environment Variablen.

	Klein	Klein-Mittel	Groß
Gitterpunkte	32 x 30 x 30	63 x 8 x 306	37 x 335 x 316
Auflösung	5000 m	125 m – 1000 m	150 m
Zeitschritt	30 s	4 s	5 s
Festplattenspeicher (binär / ASCII)	13 MB / 55 MB	70 MB / 280 MB	1.75 GB / 7 GB
Arbeitsspeicher	35 MB	210 MB	3.7 GB
STACK size	50 MB	100 MB	500 MB
OMP Stack size	64	64	128
Virtueller Speicher (1 / 4 Kerne)	2 GB / 2.2 GB	2.15 GB / 2.4 GB	6.2 GB / 6.7 GB
Rechnerempfehlung	Notebook	Notebook / Desktop	Desktop / Workstation

3.3.1 Festplattenspeicher

Im Falle einer kleinen Anzahl Gitterpunkte reichen oft wenige 10 Megabyte auf der Festplatte aus, um alle Ergebnisse in recht hoher Frequenz herauszuschreiben. Im Falle recht großer Rechengitter (250x250x40 Gitterpunkte und mehr) sind oft mehrere 10 GB nötig, um die Ergebnisse in hoher Frequenz zu schreiben. Die Schreib- und Leseperformanz der Festplatte spielt bei niedriger Ausgabefrequenz (z.B. Ausgabe alle 30 Minuten) gegenüber der Rechenzeit eine eher untergeordnete Rolle.

3.3.2 Laufende Anwendungen / Energieverwaltung

Für Simulationen auf Desktops und Notebooks sollten aufwendige GUI-basierte Anwendungen wie Browser geschlossen werden, weil beispielsweise Animationen/Flash durch die Multi-core/Multithreading Technologie Prozessoreinheiten belegen, die für die Modellsimulation notwendig sind. Mithilfe der Systemtools `nice` und `renice` lässt sich sicherstellen, dass die METRAS-PCL-Simulationen höchste Priorität erhalten. Zusätzlich muss die Energieverwaltung des Systems auf einen auf „hohe Rechenleistung“ ausgerichteten Modus eingestellt sein.

3.3.3 Anzahl der verwendeten Threads (`OMP_NUM_THREADS` / `OMP_DYNAMIC`)

Heute gängige Linux-Systeme erlauben es den Programmcode einer Anwendung (z.B. METRAS-PCL) in mehrere Teile zu unterteilen und diese Teile dann „parallel“ bzw. „mehrfädig“ auszuführen. Nebenläufige Programmteile heißen Threads / „Fäden“. Eine echte Nebenläufigkeit ist nur bei Systemen mit mehreren Prozessoren möglich.

Üblicherweise sind bei heutigen Notebooks oder Desktop-PCs vom Prozessorhersteller Chips verbaut, welche mehrere Prozessorkerne beinhalten. Auf diese Weise kann der Programmcode auf mehrere Threads unterteilt werden und auf mehreren Kernen parallel ausgeführt werden. Allerdings müssen sich die Threads einige Ausführungseinheiten teilen: beispielsweise den L2-Cache.

Auch METRAS-PCL erlaubt, mehrere auf dem Prozessorchip verfügbare Kerne für die Simulation einzusetzen. Die Anzahl der Threads bzw. Kerne kann vor dem Aufsetzen der Simulationen mit der Umgebungsvariablen `OMP_NUM_THREADS` in folgender Weise spezifiziert werden:

Bash	tcsh
<code>export OMP_NUM_THREADS=\${wert}</code>	<code>setenv OMP_NUM_THREADS \${wert}</code>

Dabei gibt `${wert}` die Anzahl der Threads an.

Den Spezifikationen des Prozessorherstellers ist zu entnehmen, wie viele physikalisch unabhängige Prozessoreinheiten (Kerne) in den Chips des Rechnersystems verbaut sind. Sind beispielsweise nur maximal vier Kerne verfügbar, so ist die Anzahl der Threads auch auf maximal vier zu beschränken. Dahingehend können Unix-Befehle wie `top` in die Irre führen, da die CPU-bezogenen Angaben sich hier normalerweise nicht auf die Anzahl der Kerne beziehen, sondern auf die durch die SMT-Technologie (Simultaneous Multi Threading) aufgeteilten Kerne.

Wird die Anzahl der Threads höher als die Anzahl der eigentlich verfügbaren physikalischen Kerne gewählt, so ist die Modellrechnung langsamer. Wird die Anzahl der Threads gar nicht vorgegeben, so setzt METRAS-PCL intern die Anzahl der Threads auf 1. Die Umgebungsvariable `OMP_DYNAMIC` erlaubt zwar, automatisch die systemauslastungsbedingt optimale Anzahl von Threads wählen. Diese Funktion ist für die Verwendung von METRAS-PCL aber unbedingt zu deaktivieren, um einen Performanzverlust zu vermeiden:

Bash	tcsh
<code>export OMP_DYNAMIC=FALSE</code>	<code>setenv OMP_DYNAMIC FALSE</code>

3.3.4 Effizienz von OpenMP Programmen

Die Verwendung der parallelen OpenMP-Version mit mehreren Threads (Prozessorkernen) führt nicht zwingend zu einer deutlichen Verringerung der Programmlaufzeit. Hierbei spielen mehrere Faktoren eine wichtige Rolle.

Entscheidend ist zum einen der Grad der Parallelisierung des Quellcodes. Ein zusätzlicher programminterner Verwaltungsaufwand führt immer dazu, dass die Rechenzeitabnahme nicht komplett mit der Zahl der verwendeten Kerne skaliert. In METRAS-PCL sind einige rechenintensive Programmteile noch nicht vollständig parallelisiert. Dementsprechend wird METRAS-PCL mit jedem späteren Release an OpenMP-Performance gewinnen. Darüber hinaus ist die Skalierung von der Gittertopologie abhängig. Manchmal kann die Verwendung von zwei anstelle von einem Kern zu einer Rechenzeitabnahme um 30% führen und manchmal zu keiner führen.

Zudem ist die OpenMP-Performance stark von den in den Prozessorchips eingebauten L2 Cache abhängig, den sich die einzelnen Kerne teilen müssen. Wenn die arithmetischen Operationen der einzelnen Kerne nicht komplett in den Cache passen und es damit zu Wartezeiten („cacheline bus bursts“, „L2 miss events“) kommt, so führt die Verwendung mehrerer Threads zu keinem Geschwindigkeitsgewinn. In dieser Hinsicht haben die schwach ausgerüsteten Mobile-Prozessoren gegenüber den Desktop- und Workstation-Prozessoren einen klaren Nachteil, denn trotz derselben Taktung gibt es deutliche Unterschiede beim verbauten L2 Cache.

3.3.5 Multithreading

Multithreading sollte mit METRAS-PCL nicht verwendet werden, da das Programm die Kerne, auf denen es rechnet, auch komplett ausnutzt. Verfügt ein Chip über 2 physikalische Kerne und

Multithreading wird unterstützt, dann könnten theoretisch vier Threads verwendet werden. Das Programm ist dann aber erfahrungsgemäß genauso langsam wie bei einer Rechnung mit einem Kern.

3.3.6 Arbeitsspeicher und Umgebungsvariable `STACK_SIZE`

METRAS-PCL benötigt für die Simulationen einen von verschiedenen Einflussfaktoren abhängigen Bereich des physikalischen Arbeitsspeichers (RAM). Während der METRAS-PCL-Simulation ist der vom Programm reservierte Arbeitsspeicher in folgende Bereiche unterteilt: das Codesegment mit dem gesamten ausführbaren Programmcode, das Datensegment für alle globalen sowie lokal statischen Variablen, die bei Programmstart initialisiert werden müssen und das block storage segment für alle globalen und lokal statischen Variablen, die nicht initialisiert werden müssen. Hinzu kommt der STACK, um Daten aufzunehmen, die dynamisch zur Laufzeit in einer geordneten Reihenfolge entstehen. Dazu zählen unter anderem die Übergabeparameter und Rückgabewerte von Prozeduren und Funktionen. Der STACK kann demnach je nach Position im Programmablauf unterschiedlich gefüllt sein.

Um den Arbeitsspeicherbedarf für METRAS-PCL abzuschätzen, empfiehlt sich grundsätzlich die Abschätzung über die zum Programmstart allokierten globalen Felder. Je nach Gitter werden die schon erwähnten 160-185 dreidimensionalen Felder allokiert und pro Feld werden $((n_{x1}+1) \times (n_{x2}+2) \times (n_{x3}+2)) \times 8$ Byte benötigt. Hinzu kommt der durch den STACK-Bereich verbrauchte Arbeitsspeicher. Dessen maximal erlaubte Größe, die `STACK_SIZE`, ist schon vor dem Lauf statisch festzulegen. Unter der BASH- bzw. TCSH-Shell wird der folgende Befehl verwendet:

Bash	tcsh
<code>ulimit -s \${wert}</code>	<code>limit stacksize \${wert}M</code>

Dabei gibt `${wert}` die Größe in KiloByte (bash) oder MB (tcsh) an. Wurde der benötigte Speicherbedarf nicht abgeschätzt, so kann als Wert `unlimited` angegeben werden. Dies hat jedoch möglicherweise Einbußen in der Performance zur Folge.

Der STACK-Bereich ist ein sehr dynamisch adressierter Bereich im Arbeitsspeicher und ändert sich während des Modelllaufs ständig, jedoch bleibt er immer kleiner als die `STACK_SIZE` selbst. Ist `STACK_SIZE` zu klein gewählt, kommt es zu unkontrollierten Abstürzen des Modells (Segmentation fault, STACK overflow). In diesen Fällen sollte zu allererst die `STACK_SIZE` verdoppelt und der Lauf wiederholt werden. Erst danach sollten andere Gründe für den Absturz in Betracht gezogen werden.

Ist `STACK_SIZE` zu groß gewählt, wird zu viel Arbeitsspeicher für den STACK adressiert. Dieses beeinträchtigt die Modellrechnung nicht. Eine Orientierung zur Einstellung der `STACK_SIZE` findet sich in der Tabelle 2 am Anfang von Abschnitt 3.3.

3.3.7 Umgebungsvariablen `OMP_STACKSIZE` und `KMP_STACKSIZE`

Werden durch den Einsatz der parallelen, OpenMP-fähigen METRAS-PCL-Version mehrere Kerne für eine Simulation beansprucht, so bekommt jeder einzelne THREAD seinen eigenen STACK. Dieser wird dann durch die Umgebungsvariable `OMP_STACKSIZE` mit folgendem Kommando festgelegt:

Laufzeitkonfiguration

Bash	tcsh
<code>export OMP_STACKSIZE=\${wert}M</code>	<code>setenv OMP_STACKSIZE \${wert}M</code>

Dabei bezeichnet `${wert}` die Größe in MB. Eine Mindestgröße von 64 MB wird empfohlen, für große bis sehr große Gitter 128 MB. Für Programme wie METRAS-PCL, die mit dem Intel Compiler übersetzt wurden, empfiehlt sich die Einstellung über die Umgebungsvariable `KMP_STACKSIZE`:

Bash	tcsh
<code>export KMP_STACKSIZE=\${wert}M</code>	<code>setenv KMP_STACKSIZE \${wert}M</code>

Die Umgebungsvariable `KMP_STACKSIZE` überschreibt die Variable `OMP_STACKSIZE` und ist erfahrungsgemäß speichereffizienter.

Der durch die STACKs der einzelnen Threads benötigte Speicher wird nicht sofort im RAM sondern zunächst im virtuellen Speicherbereich adressiert.

3.3.8 Virtueller Speicher

Neben dem Arbeitsspeicher wird vom Betriebssystem während des Programmablaufs für METRAS-PCL ein sogenannter virtueller Speicherbereich zugewiesen. Dieser virtuelle Speicherbereich erweitert das physikalische RAM und stellt eine Kombination (also die Summe) aus im RAM adressiertem und temporär auf der Festplatte ausgelagerten Speicher (SWAP) dar. So kann durch das Verschieben von Daten zwischen RAM und SWAP Arbeitsspeicher freigegeben werden.

Demnach wird auch dem Programm METRAS-PCL ein gewisser Adressbereich im RAM und auf der Festplatte zugewiesen, welcher nicht nur den Programmcode, die Konstanten, die globalen und statisch lokal allokierten Variablen sowie die dynamisch zur Laufzeit anfallenden Daten aufnimmt, sondern gegebenenfalls auch die Daten von geteilten Bibliotheken und Abbilder der Daten in vom Modell eingelesenen Dateien.

Im Modell METRAS-PCL werden für den Zugriff auf binären Dateien standardmäßig Rekordlängen von 2 GB reserviert, die der Intel Compiler sofort als virtuellen Speicher adressiert (GNU FORTRAN allokiert bedarfsorientiert). Ebenso adressiert ein mit dem Intel Compiler übersetztes Programm für die STACKs der einzelnen Threads (Kerne) virtuellen Speicher in der Größenordnung '`OMP_NUM_THREADS x OMP_STACKSIZE`'.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das verwendete Rechensystem zusätzlich zum physikalischen Arbeitsspeicher Kapazitäten für den virtuellen Speicherbereich aufweisen muss. Beispielhaft sei hier eine METRAS-PCL-Rechnung auf einem Rechengitter mit insgesamt etwa 250000 Gitterpunkten aufgeführt. In diesem Falle wird von METRAS-PCL (Intel Compiler) ein Arbeitsspeicher von etwa 300 MB reserviert und ein virtueller Speicher von 300 MB+2 GB allokiert. Wenn zusätzlich mit mehreren Kernen gerechnet wird, ergibt sich ein virtueller Speicherbereich von `300 MB + 2 GB + 64 MB x OMP_NUM_THREADS`. In diesem Beispiel mit der recht geringen Anzahl Gitterpunkte wären es bei 4 Kernen 2.7 GB.

Der virtuelle Speicher und dessen Adressierung werden durch das Betriebssystem verwaltet. Das System entscheidet selbstständig, ob der von METRAS-PCL angeforderte Bedarf durch die

Adressierung von physikalischem Arbeitsspeicher gedeckt werden kann oder ob zusätzlich die Adressierung von speziellem SWAP-Speicher auf der Festplatte nötig ist. In diesem Zusammenhang stellen die SSD-Festplatten im Vergleich zu den herkömmlichen Magnetspeichern die performantere Lösung dar.

Die Größe des SWAP-Speichers sollte vor der Verwendung von METRAS-PCL unbedingt geprüft werden, da es ansonsten zu Programmabstürzen während der Initialisierung von METRAS-PCL kommen kann. Der SWAP - Speicher wird automatisch bei der LINUX-Installation eingerichtet, d.h. eine extra Festplattenpartition wird erstellt. Die Größe des SWAP kann mit Festplattenpartitionsprogrammen oder mit dem Systemtool 'free' angezeigt werden. Um die Größe zu erweitern, ist entweder eine Neupartitionierung der Festplatte oder die Einrichtung einer speziellen SWAP-Auslagerungsdatei nötig.

4 Ein- und Ausgabedateien

4.1 Überblick

Die Steuerung von METRAS-PCL erfolgt über zwei von drei möglichen Eingabedateien. Die Ergebnisse einer Modellrechnung werden in mehrere Ausgabedateien geschrieben. Abbildung 2 gibt einen Überblick über diese Dateien.

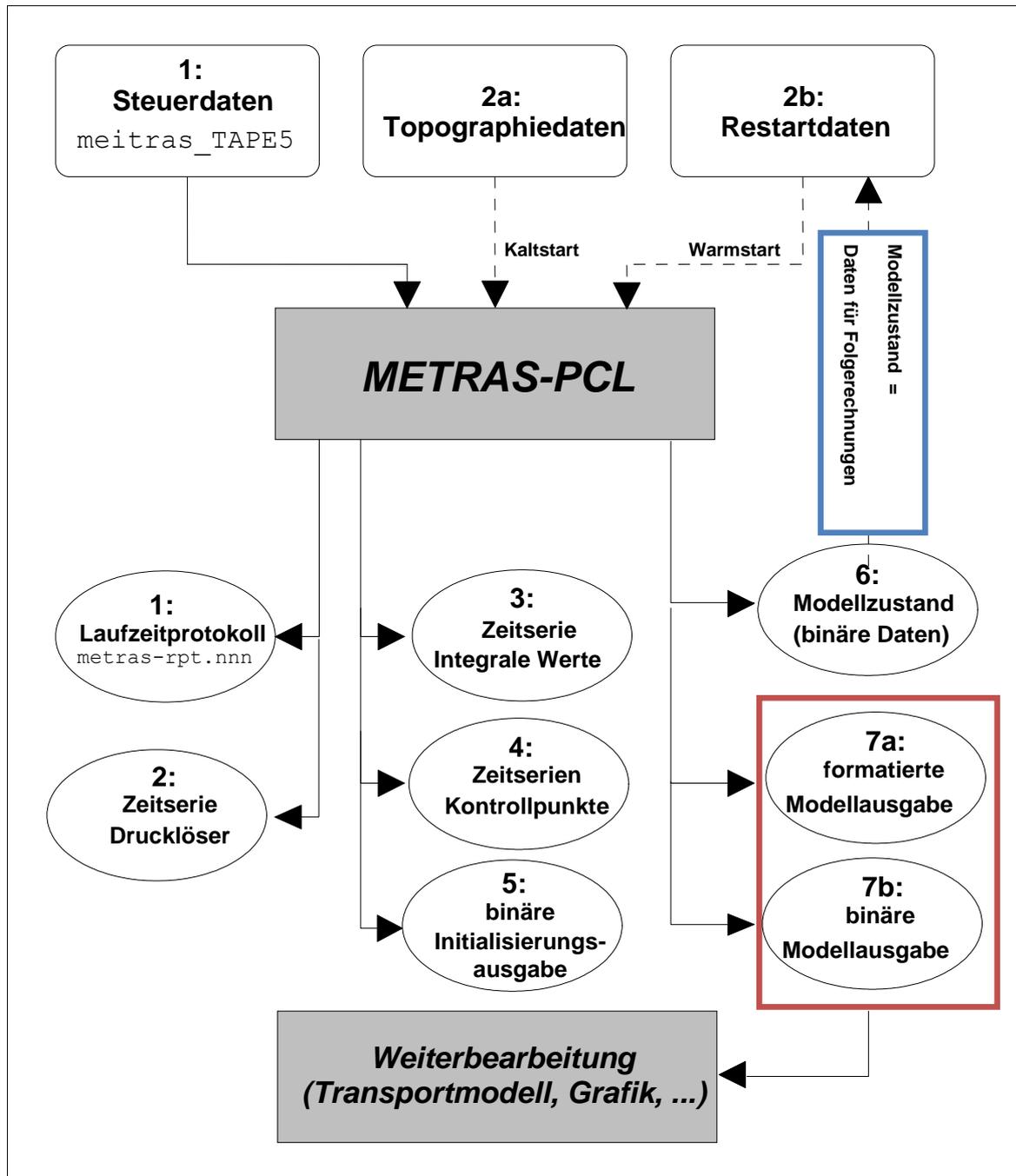


Abbildung 2: Ein- und Ausgabedateien von METRAS-PCL.

Laufverzeichnis:

Als Laufverzeichnis wird das Verzeichnis auf dem Rechner bezeichnet, in dem die Modellrechnung gestartet werden soll.

Eingabe 1: Steuerdatei - `metras_TAPE5`

Diese Datei enthält alle für eine Modellrechnung notwendigen Steuerdaten (z.B. Ein- und Ausgabedateinamen, Laufzeit, Optionen (Abschnitt 4.2)). Die Steuerdatei muss im Laufverzeichnis der Modellrechnung bereitgestellt werden und darf nicht umbenannt werden.

Eingabe 2a: Topographiedatei - frei wählbarer Dateiname

Diese Datei enthält Daten zu den Ursprungskordinaten des Modellgebiets, den horizontalen und vertikalen Gitterweiten, den Geländehöhen und den Oberflächenbedeckungsklassen (Anhang IV). Der Verzeichnispfad und Name der Topographiedatei wird in der Steuerdatei angegeben und muss dort vorliegen. Die Topographiedatei² wird nur bei einem Kaltstart vom Modell eingelesen. Bei einem Restart (Warmstart) wird der Inhalt überlesen und anstelle dessen die Restartdaten (Eingabe 2b) ausgewertet.

Eingabe 2b: Restartdaten - frei wählbarer Dateiname

Die Restartdatei enthält alle vom Modell im Fall eines Restarts benötigten Informationen der vorherigen Modellrechnung (Abschnitt 4.2.3) und wird vom Modell selbständig ausgeschrieben. Hierzu zählen alle Angaben zum Modellgebiet (Topographiedaten) sowie alle meteorologischen Felder zum Endzeitpunkt der vorherigen Modellrechnung. Der Verzeichnispfad und der Name der Restartdatei müssen in der Steuerdatei angegeben werden. Sie muss nur bei einem Restart bereitgestellt werden.

Ausgabe 1: Laufzeitprotokoll - `metras-rpt . nnn`

Das Laufzeitprotokoll enthält eine Reihe von Informationen für den Benutzer, die vom Modell während der Rechnung ausgegeben werden (Abschnitt 4.3.1). Das Laufzeitprotokoll sollte nach jeder Modellrechnung sorgfältig auf mögliche Fehlerhinweise überprüft werden. Das Protokoll wird immer im Laufverzeichnis der Modellrechnung erzeugt und wird als Endung mit einer laufenden Nummer erweitert. Jede neue Rechnung im Laufverzeichnis erzeugt ein neues Protokoll mit der kleinsten freien Nummer. Wird eine Datei gelöscht, so wird die dann freie kleinste Nummer genutzt.

Ausgabe 2: Zeitserie Drucklöser - `AS... . nnn`

Zu jedem Zeitschritt der Modellrechnung werden von METRAS-PCL die zur Lösung des Drucklöser benötigte Anzahl von Iterationen und das Restresiduum angegeben. Das Residuum sollte sehr klein sein und die Anzahl der benötigten Iterationen nicht kontinuierlich steigen. Andernfalls kann dies auf eine beginnende numerische Instabilität hinweisen. Diese Zeitserie dient der Kontrolle der Modellrechnungen und sollte bei unklaren Modellergebnissen herangezogen werden. Sie wird in dem in der Steuerdatei angegebenen Ausgabeverzeichnis erzeugt und erhält als Endung den in der Steuerdatei angegebenen `casename` (Abschnitt 4.2) und eine laufende Nummer, die identisch mit der des Laufzeitprotokolls ist.

Ausgabe 3: Zeitserie mittlerer Werte - `AM... . nnn`

Zu jedem Zeitschritt der Modellrechnung werden von METRAS-PCL Zeitschritt, Uhrzeit und einige meteorologische Größen, gemittelt über das gesamte Modellgebiet ausgegeben (Abschnitt 4.3.5). Die Zeitserie dient der Kontrolle der Modellrechnungen und sollte nach jeder Rechnung sorgfältig

² Werden Auswerteprogramme der METRAS Entwicklergruppe verwendet, so wird davon ausgegangen, dass die beiden ersten Buchstaben der Topographiedatei „ga“ sind.

auf Fehlerhinweise (auffällige oder stark variierende Gebietsmittelwerte) überprüft werden. Sie wird in dem in der Steuerdatei angegebenen Ausgabeverzeichnis erzeugt und erhält als Endung den in der Steuerdatei angegebenen `casename` (Abschnitt 4.2) und eine laufende Nummer, die identisch mit der des Laufzeitprotokolls ist.

Ausgabe 4: Zeitserie an Kontrollpunkten – `ALmm_... .nnn`

Zu jedem Zeitschritt der Modellrechnung werden von METRAS-PCL die Modellzeit und einige meteorologische Größen an bis zu 20 vom Benutzer bestimmten Kontrollpunkten ausgegeben (Abschnitt 4.3.4). Dabei erhält jeder Kontrollpunkt eine eigene Datei mit der Reihe nach aufsteigender Kennung (`mm`), wobei sich die Reihenfolge nach den in der Steuerdatei angegebenen Zeitserienstandorten richtet. Die Zeitserien dienen der Kontrolle der Modellrechnungen oder zum Vergleich mit Messdaten und sollten nach jeder Rechnung sorgfältig auf Fehlerhinweise überprüft werden. Sie werden in dem in der Steuerdatei angegebenen Ausgabeverzeichnis erzeugt und erhalten als Endung den in der Steuerdatei angegebenen `casename` (Abschnitt 4.2) und eine laufende Nummer, die identisch mit der des Laufzeitprotokolls ist.

Ausgabe 5: Binäre Anfangswertausgabe – `B1A...`

Diese Ausgabedatei enthält die Ergebnisse der 1-dimensionalen Anfangswertberechnung des Modells. Die Ausgabe erfolgt in einem internen Binärformat. Diese Datei wird bei einem Kaltstart als Ergebnis der Berechnung von an die Modellphysik angepassten Anfangswerten erzeugt. Bei einem Warmstart wird die Anfangswertdatei nicht verwendet. Die binäre Ausgabedatei wird in dem in der Steuerdatei angegebenen Ausgabeverzeichnis erzeugt und erhält als Endung den in der Steuerdatei angegebenen `casename` (Abschnitt 4.2).

Ausgabe 6: Modellzustand (binäre Daten) – `BR... .nnn`

Diese Ausgabedatei enthält alle Modellparameter und Berechnungsergebnisse, die für einen möglichen Warmstart (Restart) der Rechnung benötigt werden (entspricht Eingabe 2b; Abschnitt 4.3.3; zum Warmstart siehe Abschnitt 5.6.2). Die Ausgabe erfolgt in einem Binärformat, das von METRAS-PCL für den Warmstart eingelesen wird. Die binäre Ausgabedatei wird in dem in der Steuerdatei angegebenen Ausgabeverzeichnis erzeugt und erhält als Endung den in der Steuerdatei angegebenen `casename` (Abschnitt 4.2) und eine laufende Nummer, die identisch mit der des Laufzeitprotokolls ist. Beispielsweise wird bei einem Kaltstart am Ende der Modellzustand gespeichert in `BR${casename}.000` und beim nächsten Restart wird am Ende der Modellzustand gespeichert in `BR${casename}.001`.

Ausgabe 7a: Formatgebundene Modellergebnisse – `AP... .nnn`

Alle vom Benutzer in der Steuerdatei ausgewählten Ausgabegrößen werden ausschließlich als REAL-Größen im FORTRAN-Format `nEm` in diese Ausgabedatei geschrieben (Abschnitt 4.3.2). Die formatgebundene (ASCII-)Ausgabe ermöglicht einen problemlosen Transfer auf andere Rechner und die Weiterverwendung der Modellergebnisse durch Folgeprogramme (Grafik, Ausbreitungsmodelle). Die formatgebundene Ausgabedatei wird in dem in der Steuerdatei angegebenen Ausgabeverzeichnis erzeugt und erhält als Endung den in der Steuerdatei angegebenen `casename` (Abschnitt 4.2) und eine laufende Nummer, die identisch mit der des Laufzeitprotokolls ist.

Ausgabe 7b: binäre Modellergebnisse – `BP... .nnn`

Alle vom Benutzer in der Steuerdatei ausgewählten Ausgabegrößen werden ausschließlich als REAL-Größen mit der Genauigkeit Single Precision (32 bit) in die binäre Ausgabedatei geschrieben.

Sie wird parallel zu den formatierten Modellergebnissen abgelegt, enthält dieselben Informationen und verbraucht dabei wesentlich weniger Festplattenspeicher. Auch dieses Ausgabeformat ermöglicht einen Transfer auf andere Rechner, so lange die Endianess berücksichtigt wird. Sie ist ebenso für die Weiterverwendung in Folgeprogramme (Grafik, Ausbreitungsmodelle) ausgelegt. Die binäre Ausgabedatei wird in dem in der Steuerdatei angegebenen Ausgabeverzeichnis erzeugt und erhält als Endung den in der Steuerdatei angegebenen `casename` (Abschnitt 4.2) und eine laufende Nummer, die identisch mit der des Laufzeitprotokolls ist.

4.2 Eingabedateien

4.2.1 Modellsteuerung

Dateiname: `meitras_TAPE5`

Verzeichnis: `muss im Laufverzeichnis vorliegen`

Diese Eingabedatei enthält alle Steuerdaten für eine Modellrechnung. Sie besteht aus sogenannten Namelistgruppen und den zugehörigen Namelistvariablen. Den Namelistvariablen können ein Wert oder mehrere Werte zugewiesen werden. Sie werden zur Steuerung des Modells verwendet. Dabei gelten folgende Regeln:

1. Die beiden Namelistgruppen „CONTROL“ und „METEO“ müssen in der Steuerdatei auftauchen. Die Reihenfolge der Namelistgruppen sollte der Übersicht halber nicht vertauscht werden und jede sollte nur einmal in der Steuerdatei stehen.
2. Die zu den Namelistgruppen gehörenden Namelistvariablen sind in den unten stehenden Tabellen aufgeführt. Jede Namelistvariable darf nur in ihrer jeweiligen Namelistgruppe auftauchen, kann in dieser aber beliebig positioniert werden. Auch hier wird empfohlen, die Reihenfolge der Übersicht halber immer gleich zu lassen. Jede Namelistvariable sollte nur einmal ein Wert/Werte zugewiesen werden. Erfolgen Wertzuweisungen mehrfach ist unklar, welche Wertzuweisung verwendet wird.
3. Kommentare werden durch das Zeichen "!" eingeleitet. Sie können am Zeilenanfang stehen, um die Zuweisung der Namelistvariablen aus zu kommentieren, dann wird die Zuweisung vom Programm überlesen. Sie können aber auch nach der Namelistvariablenzuweisung in derselben Zeile stehen, dann wird der Text nach dem "!" ignoriert.
4. Die Steuerung des Modells mithilfe der Namelistgruppen und -variablen erfolgt durch folgende Syntax:

```

&CONTROL
Namelistvariable1 = ${wert}
Namelistvariable2 = ${wert}
Namelistvariable3 = ${wert}
...
/
&METEO
Namelistvariable4 = ${wert}
Namelistvariable5 = ${wert}
Namelistvariable6 = ${wert}
...
/

```

Die Namelistgruppen müssen mit einem Zeichen „&“ beginnen. Danach folgt unmittelbar der Name der Gruppe. Die Namelistgruppen werden mit einem Schrägstrich („/“) abgeschlossen. Vor und hinter der Namelistvariablen dürfen Leerzeichen stehen. Mehrere zugewiesene Werte für eine Namelistvariable müssen durch mindestens ein Leerzeichen oder Komma getrennt werden (siehe Beispiele in Tabelle 3, Tabelle 4).

5. Innerhalb einer Zeile sollte der Übersicht halber nur eine Namelistvariable deklariert werden. Sonst müssten die Zuweisungen durch Semikolon getrennt werden.
6. Werte können vom Typ Zeichen, Realzahl oder Integerzahl sein. Zeichenwerte müssen in ''' (Apostroph) eingeschlossen werden (z.B. casename = 'Test1').
7. Ein Beispiel für eine Steuerdatendatei liegt der Auslieferung des Modells bei.

Die Namelistvariablen sind in Tabelle 3 und Tabelle 4 erläutert. Eine Kurzerläuterung ist in Anhang I zu finden.

Tabelle 3: Namelistvariable und ihre Verwendung in der Namelistgruppe CONTROL. In der linken Spalte sind der Name der Variablen (Namelistvariable), der Typ, der Wertebereich bzw. das Format und der ohne andere Vorgabe verwendete Standardwert (Default) angegeben. Ist der Standardwert mit „-“ angegeben, wird damit eine unter gewissen Umständen zwingend notwendige Namelistvariable beschrieben: „A“ steht für automatisch gesetzte Variable, „N“ für zwingend notwendig (Default: „-“) und „N ini“ bzw. „N res“ für eine nur bei einem Kaltstart bzw. nur bei einem Restart notwendige Namelistvariable.

Namelistvariable	Erläuterung
Typ	
Format/Wertebereich	
Default	
diurnal_cycle	Steuert die Bodenrandbedingungen für Temperatur und Feuchte. Ist der Wert auf 0 gesetzt, so erfolgen Modellsimulationen ohne Tagesgang, d.h. die potentielle Temperatur und spezifische Feuchte werden am Boden konstant gleich den Werten am Ende der Diastrophie gehalten. Ist der Wert auf 1 gesetzt, erfolgt die Modellrechnung mit Tagesgang, d. h. Bilanzgleichungen für potentielle Temperatur und Feuchte am Boden werden gelöst.
Integer	
0, 1	
-(N)	
Casename	Frei wählbare Kennung der Modellrechnung. Die Namen aller Ausgabe-dateien werden automatisch um diese Kennung erweitert.
Character	
max. 256Zeichen	
-(N)	

Ein- und Ausgabedateien

Namelistvariable Typ Format/Wertebereich Default	Erläuterung
Outputdir	Frei wählbarer Name des Ausgabeverzeichnis. In diesem Verzeichnis werden bis auf das Laufzeitprotokoll alle Ausgabedateien geschrieben. Die Angabe kann als relativer oder absoluter Pfad erfolgen.
Character	
max. 256 Zeichen	
-(N)	
topo_file	Bezeichnet den Namen der Topographiedatei und optional den Pfad, in welchem diese Datei liegt. Der Pfad kann relativ oder absolut angegeben werden.
Character	
max. 256 Zeichen	
-(N)	
start_datetime	Bezeichnet immer das Startdatum und die Startzeit des gesamten Simulationszeitraumes. Das Format ist 'yyyy-mm-ddTHH:MM:SS' (yyyy=Jahr, mm=Monat, dd=Tag, HH=Stunde, MM=Minute, SS=Sekunde). Die Uhrzeit bezieht sich auf die lokale Sonnenzeit, zu der die Sonne um 12:00 am höchsten steht. Auch im Falle eines Restarts ist weiterhin der Starttermin des gesamten Modelllaufs anzugeben! Der erste Simulationstag wird modellintern als Simulationstag 0 geführt (siehe firstoutput_time, end_time, output_interval, special_output_time). Eine beispielhafte Eingabe wäre 2015-05-30T09:00:00, d.h. der Modelllauf startet für den 30. Mai 2015 um 09 Uhr.
Character	
'yyyy-mm-ddTHH:MM:SS'	
-(N)	
output_records	Kennzeichnet die gewünschten Ausgabegrößen in der formatgebundenen und in der binären Ausgabedatei als kommaseparierte Liste. Die Record-Nummern sind in Anhang II erläutert. Die Record-Nummern 1, 3, 7, 11, 12, 18 und 1000 müssen in jedem Fall enthalten sein, da sonst die Modellergebnisse räumlich und zeitlich nicht zugeordnet werden können bzw. kein Einlesen möglich ist. Standardmäßig werden alle im Anhang II aufgelisteten Records herausgeschrieben ({list of recs}). Eine Beispieleingabe ist '1, 3, 7, 11, 12, 18, 300, 1000, 2000, 2100, 3100, 3200'.
Character	
numerische Zeichen	
'(Alle)'	
timestep_factor	Steuert die automatische Berechnung der Länge des Zeitschritts. Der Wert 1.0 entspricht einer optimalen Berücksichtigung der bekannten numerischen Stabilitätskriterien. Größere Werte führen zu längeren Zeitschritten, geringerer numerischer Stabilität und kürzerer Rechenzeit. Kleinere Werte führen zu kürzeren Zeitschritten, höherer numerischer Stabilität und längerer Rechenzeit. Werte größer 1.0 sollten nur von sehr erfahrenen Anwendern eingesetzt werden!
Real	
0.1– 3.0	
1.0	

Eingabedateien

Namelistvariable Typ Format/Wertebereich Default	Erläuterung
restart_file	<p>Steuert die Startphase der Modellrechnung.</p> <p>Ist diese Namelistvariable nicht gesetzt, so erfolgt ein Kaltstart: eine Initialisierungsphase anhand der topographischen und meteorologischen Eingangsdaten und eine Diastrophie (langsames Anwachsen des Geländes von 0 m auf die tatsächliche Höhe, siehe <code>topogrow_time</code>). Ist eine Restartdatei angegeben, so erfolgt ein Restart (Warmstart): Einlesen von binären Ergebnissen einer vorherigen Modellrechnung und direktes Fortführen der Simulation.</p>
Character	
max. 256 Zeichen	
-(N res)	
topogrow_time	<p>Dauer der Diastrophie in Minuten ab dem unter <code>start_datetime</code> angegebenen Zeitpunkt. Wird eine Modellrechnung für ebenes Gelände (Topographiehöhe einheitlich 0 m) durchgeführt, so darf <code>topogrow_time=0</code> sein. Für die meisten Anwendungen sind Diastrophiezeiträume zwischen 1 Minute und 10 Minuten sinnvoll. Hinweis: Sollte das Anwachsen des Geländes den kritischen Wert von 5 m/s überschreiten, so wird <code>topogrow_time</code> automatisch vom Programm erhöht. In diesem Fall wird auch die sich an die Diastrophie anschließende 3D-Initialisierungsphase erhöht; sie beträgt das zehnfache der ermittelten <code>topogrow_time</code>.</p>
Integer	
Minuten	
3	
end_time	<p>Ende des Simulationszeitraumes. Das Format ist 'dayDDTHH:MM' (DD=Tag nach Simulationsbeginn, HH=Stunde, MM=Minute). Die Uhrzeiten beziehen sich auf lokale Sonnenzeit. Der Start der Modellsimulation wird durch den Datumstempel in <code>start_datetime</code> festgelegt, beginnt jedoch modellintern bei Tag 0. Demnach bedeutet <code>end_time='day01T12:00'</code>, dass die Modellrechnung bis zum ersten Tag nach Simulationsbeginn um 12 Uhr andauert. Hinweis: Bei einem Simulationenende schon am nullten Tag, (DD=0) muss beachtet werden, dass die Uhrzeit des gewünschten Simulationendes nach der Uhrzeit des Simulationsstarts (<code>start_datetime</code>) liegt. Ein Simulationszeitraum von mehr als 2 Tagen ist aufgrund der Modellannahmen (stationäre großräumige Situation) meteorologisch nicht sinnvoll.</p>
Character	
'dayDDTHH:MM'	
-(N)	
firstoutput_time	<p>Zeitpunkt der ersten Ausgabe von Modellergebnissen in die Ausgabedateien mit demselben Format wie unter <code>end_time</code> angegeben. Demnach bedeutet <code>firstoutput_time=day00T12:00</code>, dass die erste Ausgabe am Tag des Simulationsbeginns um 12 Uhr erfolgt. Hinweis: Die erste Ausgabe muss nach dem Simulationsstart (<code>start_datetime</code>) erfolgen.</p>
character	
'dayDDTHH:MM'	
-(N)	
output_interval	<p>Ausgabeintervall von Modellergebnissen in die Ausgabedateien mit demselben Format wie unter <code>end_time</code> angegeben. Demnach bedeutet <code>output_interval='day00T02:00'</code>, dass eine Ausgabe alle 2 Stunden erfolgt. Hinweis: Das Ausgabeintervall muss mindestens eine Minute betragen.</p>
character	
'dayDDTHH:MM'	
-(N)	

Namelistvariable Typ Format/Wertebereich Default	Erläuterung
special_output_time Character 'dayDDTHH:MM' 'day00T00:00'	Eine Liste von Zeitpunkten, für die eine zusätzliche Ausgabe von Modell- ergebnisse in die Ausgabedateien erfolgen soll. Jeder Listeneintrag folgt demselben Format wie in end_time, firstoutput_time und output_interal. Demnach bedeutet die Angabe special_output_time = 'day01T00:00, day01T12:00', dass zusätzliche Ausgaben am ersten Tag nach Simulationsbeginn um 00 und um 12 Uhr geschrieben werden.
wallclock_limit Integer Minuten -123456789	Maximale Rechenzeit in Minuten, die auf dem Rechner verbraucht werden darf. Die Angabe erfolgt in Minuten. Ist die Modellrechnung bis dahin noch nicht abgeschlossen, so werden in der binären Restartdatei die Modellergebnisse zu jener Simulationszeit gesichert, welche kurz vor dem Ende der verfügbaren Rechenzeit erreicht wurde. Eine anschließende Modellrechnung kann mit Hilfe dieser Restartdatei gestartet werden, um die Berechnung für den gesamten Simulationszeitraum abschließen.
ntimeseries Integer 1 – 20 1	Anzahl der Orte, an denen Zeitserien als formatierte Ausgabe in separate Dateien ausgegeben werden sollen
timeseries_height Character kommaseparierte Liste '100'	Höhen der Kontrollpunkte für die Zeitserienausgabe. Es wird eine komma-separierte Liste mit ntimeseries Einträgen in der Einheit m erwartet. Hinweis: Die Werte müssen kleiner als die Obergrenze des gewählten Modellgebietes sein.
timeseries_lat Character -90.0 – 90.0, kommaseparierte Liste '53.3000'	Geographische Breiten der Kontrollpunkte für die Zeitserienausgabe. Es wird eine komma-separierte Liste mit ntimeseries Einträgen in der Einheit DD.MMSS (DD=Grad; MM=Minute; SS=Sekunde) erwartet. Die Werte dürfen minimal -90.0000 und maximal 90.0000 annehmen.
timeseries_lon Character -180.0 – 180.0, kommaseparierte Liste '10.0000'	Geographische Längen der Kontrollpunkte für die Zeitserienausgabe. Es wird eine komma-separierte Liste mit ntimeseries Einträgen in der Einheit DD.MMSS (DD=Grad; MM=Minute; SS=Sekunde) erwartet. Die Werte dürfen minimal -180.0000 und maximal 180.0000 annehmen.

Eingabedateien

Tabelle 4: Namelistvariable und ihre Verwendung in der Namelistgruppe *METEO* mit sonst gleicher Nomenklatur wie bei Namelistgruppe *CONTROL* (Tabelle 3). Bei einem Restart darf die Namelistgruppe *METEO* fehlen.

Namelistvariable Typ Format/Wertebereich Default	Erläuterung
ini_lon Real -180.0 – 180.0 -200	Geographische Länge des Ortes des meteorologischen Initialisierungsprofils. Die Einheit ist DD.MMSS (DD=Grad; MM=Minute; SS= Sekunde). Hinweis 1: Wird der Namelistvariablen <i>ini_lon</i> und <i>ini_lat</i> gleichzeitig ein Wert kleiner als <i>-199.0</i> zugewiesen, so erfolgt die Initialisierung am niedrigsten Geländepunkt des Modellgebietes. Gibt es mehrere davon, so wird der mit der größten Rauigkeit gewählt. Hinweis 2: Wird ein Initialisierungspunkt außerhalb des Modellgebietes spezifiziert, so wird der ihm am nächsten liegende Punkt im Modellgebiet verwendet.
ini_lat Real -90.0 – 90.0 -200	Geographische Breite des Ortes des meteorologischen Initialisierungsprofils. Es gelten dieselbe Einheit und Kriterien wie unter <i>ini_lon</i> angegeben.
wind_kanz integer >= 1 -(N ini)	Anzahl der Profilpunkte, die den reibungsunbeeinflussten und großskaligen Wind beschreiben. Es muss mindestens 1 Profilpunkt gesetzt werden. Ist <i>wind_kanz</i> auf 1 gesetzt, so wird der durch <i>u_value</i> und <i>v_value</i> definierte Wind höhenkonstant als großskaliger und reibungsfreier Wind verwendet. Wenn <i>wind_kanz</i> >1 ist, dann erwartet das Programm <i>wind_kanz</i> Profilwerte für <i>u_value</i> und <i>v_value</i> . Hinweis: Die reibungsbehafteten Windwerte werden vom Modell selbständig errechnet.
rh_kanz Integer >= 1 -(N ini)	Anzahl der Profilpunkte, die die großskalige relative Feuchte beschreiben. Es gelten dieselben Kriterien wie unter <i>wind_kanz</i> angegeben. Wenn <i>rh_kanz</i> auf 1 gesetzt ist, wird aber eine lineare Interpolation durchgeführt zwischen dem angegebenen Wert <i>rh_value</i> und der Tropopause mit 5% Feuchte.
treal_kanz Integer >= 1 -(N ini)	Anzahl der Profilpunkte, die die großskalige Temperatur beschreiben. Es gelten dieselben Kriterien wie unter <i>wind_kanz</i> angegeben. Wenn <i>treal_kanz</i> auf 1 gesetzt ist, so wird der in <i>treal_value</i> angegebene Wert als erdbodennahe Temperatur verwendet und das Temperaturprofil selbst mithilfe der Gradienten der potentiellen Temperatur bestimmt (→ <i>dtpotdz_value</i>).
dtpotdz_kanz Integer >= 0 -(N ini)	Anzahl der Profilpunkte, die den großskaligen Gradienten der potentiellen Temperatur beschreiben. Es gelten dieselben Kriterien wie unter <i>wind_kanz</i> angegeben. Wenn <i>dtpotdz_kanz</i> auf 0 gesetzt ist, so wird das Temperaturprofil ausschließlich durch die in <i>treal_height</i> und <i>treal_value</i> angegebenen Werte festgelegt.
wind_height Character kommaseparierte Liste -(N ini)	<i>wind_kanz</i> Höhen über Grund der Profilpunkte des reibungsunbeeinflussten, großskaligen Windes. Es wird eine kommaseparierte Liste mit <i>wind_kanz</i> Werten in der Einheit <i>m</i> erwartet. Der erste Profilpunkt muss bei 0 m liegen! Eine beispielhafte Eingabe wäre '0.0, 20.0, 100.0, 300.0, 800.0, 1200.0'.

Namelistvariable Typ Format/Wertebereich Default	Erläuterung
rh_height Character kommaseparierte Liste -(N ini)	rh_kanz Höhen über Grund der Profilpunkte der großskaligen relativen Feuchte. Es gelten dieselben Einheiten und Kriterien wie unter wind_height angegeben.
treal_height Character kommaseparierte Liste -(N ini)	treal_kanz Höhen über Grund der Profilpunkte der großskaligen Temperatur. Es gelten dieselben Einheiten und Kriterien wie unter wind_height angegeben.
dtpotdz_height Character kommaseparierte Liste -(N ini)	dtpotdz_kanz Höhen über Grund der Profilpunkte des großskaligen Gradienten der potentiellen Temperatur. Es gelten dieselben Einheiten und Kriterien wie unter wind_height angegeben. Bei Vorgabe von dtpotdz_kanz=0 werden die Höhenangaben überlesen.
u_value Character kommaseparierte Liste -(N ini)	Windgeschwindigkeitsprofil der West-Ost Windkomponente des reibungsunbeeinflussten großskaligen Windes. Es wird eine kommaseparierte Liste mit wind_kanz Werten in der Einheit m/s an den durch wind_height definierten Profilhöhen erwartet. Hinweis: Bei der Vorgabe der Profilwerte sollten keine Gradienten in den höchsten Höhen verwendet werden, da diese modellintern bis zum Oberrand fortgesetzt werden. Eine beispielhafte Eingabe wäre '-3.0, -4.0, -8.0, -8.0'.
v_value Character kommaseparierte Liste -(N ini)	Windgeschwindigkeitsprofil der Süd-Nord Windkomponente des reibungsunbeeinflussten großskaligen Windes. Es gelten dasselbe Format und Einheit wie unter u_value angegeben.
rh_value Character 0.1– 99.9, kommaseparierte Liste -(N ini)	Profil der großskaligen relativen Feuchte. Es wird eine kommaseparierte Liste mit rh_kanz Werten in der Einheit % an den durch rh_height definierten Profilhöhen erwartet. Der erste Wert (bei z=0.m) kennzeichnet typischerweise die 2m-Feuchte, nicht aber die Feuchte direkt am Boden! Eine beispielhafte Eingabe wäre '80.0, 60.0, 30.0 10.0'.
treal_value Character kommaseparierte Liste -(N ini)	Profil der großskaligen Temperatur. Es wird eine kommaseparierte Liste mit treal_kanz Werten in der Einheit K an den durch treal_height definierten Profilhöhen erwartet. Der erste Wert (bei z=0 m) kennzeichnet typischerweise die 2m-Lufttemperatur, nicht aber die Bodentemperatur! Eine beispielhafte Eingabe wäre '290.0, 280.0, 260.0'.
dtpotdz_value Character kommaseparierte Liste -(N ini)	Profil des großskaligen Gradienten der potentiellen Temperatur. Es wird eine durch Komma separierte Liste mit dtpotdz_kanz Einträgen in der Einheit K/m oberhalb der durch dtpotdz_height definierten Profilhöhen erwartet. Hinweis 1: Wird dtpotdz_kanz=1 und dtpotdz_value=0.0 oder größer gesetzt, so wird eine vertikal bis zum Modelloberrand einheitliche, neutrale bzw. labile Schichtung initialisiert. Dies ist in der Regel nicht

Eingabedateien

Namelistvariable Typ Format/Wertebereich Default	Erläuterung
	sinnvoll und kann - insbesondere bei der zusätzlichen Vorgabe eines sehr feuchten Vertikalprofils - zu unrealistischen Ergebnissen führen. Die atmosphärische Schichtung oberhalb der Grenzschicht ist allgemein stabil. Hinweis 2: Bei Vorgabe von <code>dtpotdz_kanz=0</code> werden die Profilwerte überlesen.
<code>sur_pressure</code>	Nicht reduzierter Bodendruck am Ort des Initialisierungspunktes in der Einheit Pa.
Real	
Zahl	
-(N ini)	
<code>treal_insoil</code>	Temperatur (Einheit °C) der Bodenschichten in 10 bis 50 cm Tiefe, die für den gerechneten Tag im Mittel gültig sind. Der Wert sollte charakteristisch für den Initialisierungsort und für den zu simulierenden Zeitraum sein. Die Geländehöhen der einzelnen Gitterpunkte im Modellgebiet werden während der Initialisierungsphase durch eine feuchtadiabatische Korrektur berücksichtigt. Wenn keine Bodentemperatur verfügbar ist, so ist <code>treal_insoil</code> auf <code>-999.0</code> zu setzen. In diesem Fall wird die Temperatur aus dem 1000 m Niveau verwendet.
Real	
Zahl	
-999.0	
<code>treal_water</code>	Temperatur (Einheit °C) aller im Modellgebiet auftauchenden Wasserflächen. Der Wert sollte charakteristisch für das gewählte Modellgebiet und für den zu simulierenden Zeitraum sein. Wenn keine Wassertemperatur verfügbar ist, so ist <code>treal_water</code> auf <code>-999.0</code> zu setzen. In diesem Fall wird die Temperatur aus dem 1000 m Niveau verwendet.
Real	
Zahl	
-999.0	
<code>ndrydays</code>	Länge einer möglichen, dem Simulationstag vorangegangenen Trockenperiode. Sie wird angegeben in Tagen. Der Wert sollte charakteristisch für das gewählte Modellgebiet und für den Zeitpunkt der Initialisierung sein. Ist die Länge der Trockenperiode nicht bekannt, so ist <code>ndrydays=0</code> zu setzen! Beispiel: <code>ndrydays=2</code> , das heißt im gewählten Modellgebiet ist vor dem durch <code>start_datetime</code> angegebenen Zeitpunkt eine Trockenphase von 2 Tagen aufgetreten. Hinweis1: Die Wassermenge werden ohne Trocknung als gut feucht aber nicht nass angenommen (keine Pfützen). Hinweis2: Falsche Angaben führen zu unrealistischen Ergebnissen.
Integer	
>=0	
0	

4.2.2 Topographiedaten

Dateiname und Verzeichnis: wird durch Schlüsselwort `topo_file` in Steuerdatei `meitras_TAPE5` festgelegt

Die Topographiedatei enthält, teilweise formatgebunden, alle notwendigen Daten zur Definition des Modellgebietes. Die Daten sind in aufeinanderfolgenden Blöcken angeordnet:

- Anzahl der Gitterpunkte (listengesteuertes Einlesen)
- geographischer Bezugspunkt (listengesteuertes Einlesen)
- Drehung des Gitters gegen Nord (listengesteuertes Einlesen)

- Anzahl von Oberflächenbeckungsklassen (listengesteuertes Einlesen)
- vertikale Gitterkoordinaten (listengesteuertes Einlesen)
- Modellkoordinaten der "linken unteren Ecke" (=Südwestecke, falls keine Drehung gegen Nord; formatgebundenes Einlesen)
- horizontale Gitterweiten und topographische Daten (formatgebundenes Einlesen)

Die Abbildung 3 enthält als Beispiel den Anfang einer Topographiedatei. Die Bedeutung der einzelnen Zeilen wird nachfolgenderläutert.

```
'NUMBER·OF·GRID·POINTS:·NX3·='·63·',·NX2·='·4·',·NX1·='·170
'REF·POINT· [dd.mmss] :·LATITUDE·='·50.0000·',·LONGITUDE·='·10.0000
'ANGLE·OF·GRID·ROTATION·='·0.0000
'NUMBER·OF·SURFACE·COVER·CLASSES·='·1
'VEKTOR·Z·POINTS:'·-20·0·20·40·60·
·80·100·120·140·160·
·182·206·232·260·290·
·322·356·393·433·476·
·522·571·624·681·742·
·808·879·955·1037·1125·
·1220·1322·1432·1550·1677·
·1814·1961·2119·2289·2472·
·2669·2881·3109·3354·3617·
·3900·4204·4531·4883·5261·
·5667·6103·6572·7076·7618·
·8201·8828·9502·10227·11006·
·11806·12606·13406·14206·15006·
·15806·
·YXMIN=-30833·YYMIN=-500·
·II·IJ·YDX·YDY·ZSURF·3100·LON·LAT·
·0·0·1000·250·0.00·1.00·9.334691·49.593681
·1·0·1000·250·0.00·1.00·9.343712·49.593700
·2·0·1000·250·0.00·1.00·9.352732·49.593718
·3·0·1000·250·0.00·1.00·9.361753·49.593735
·4·0·1000·250·0.00·1.00·9.370773·49.593752
·5·0·1000·250·0.00·1.00·9.375794·49.593768
·6·0·989·250·0.00·1.00·9.384786·49.593783
·7·0·920·250·0.00·1.00·9.393576·49.593798
·8·0·855·250·0.00·1.00·9.402031·49.593811
·9·0·796·250·0.00·1.00·9.410176·49.593822
·10·0·740·250·0.00·1.00·9.414032·49.593832
·11·0·689·250·0.00·1.00·9.421618·49.593842
·12·0·641·250·0.00·1.00·9.424955·49.593850
```

Abbildung 3: Anfang einer Topographiedatei.

Block "Anzahl der Gitterpunkte":

Dieser Block besteht aus einer Zeile und enthält formatfrei:

```
'text' nx3 'text' nx2 'text' nx1
```

Darin ist *text* jeweils ein beliebiger Kommentar text nicht vorgeschriebener Länge. *nx3*, *nx2* und *nx1* sind Integerwerte, die für die Anzahl der skalaren Gitterpunkte des Modellgebietes in z-, y- und x-Richtung stehen. Dabei werden die skalaren Randpunkte nicht mitgezählt. Das (skalare) Druckfeld beispielsweise ist dimensioniert als P0 (0:nx3+1, 0:nx2+1, 0:nx1+1). Vergleiche hierzu auch Anhang II.

Block "Bezugspunkt":

Die zweite Zeile der Topographiedatei enthält formatfrei die geographischen Koordinaten vom Bezugspunkt des Modellgebietes. Als Bezugspunkt ist der Punkt des Modellgebietes mit den Modellkoordinaten $x=y=0$ definiert:

```
'text'  EPHI  'text'  ELAM
```

Darin ist *text* jeweils ein beliebiger Kommentartext nicht vorgeschriebener Länge. *EPHI* und *ELAM* sind Realwerte, die die geographische Breite und Länge des Bezugspunkts in der Einheit DD.MMSS (DD=Grad; MM=Minute; SS=Sekunde) angeben.

Block "Gitterdrehung":

Dieser Block steht in der dritten Zeile der Topographiedatei und enthält formatfrei den Drehwinkel des Gitters gegen die Nordrichtung:

```
'text'  EDREWI
```

Darin ist *text* ein beliebiger Kommentartext nicht vorgeschriebener Länge. *EDREWI* ist ein Realwert, der den mathematisch positiven Drehwinkel des Modellkoordinatensystems gegenüber einer Nord-Ost-Ausrichtung angibt. Drehpunkt ist der Bezugspunkt. *EDREWI* wird in der Einheit DD.MMSS (DD=Grad; MM=Minute; SS=Sekunde) angegeben.

Block "Oberflächenbedeckungsklassen":

Dieser Block steht in der vierten Zeile der Topographiedatei und enthält formatfrei die Anzahl der im Block „Topographiedaten“ auftauchenden Oberflächenbedeckungsklassen:

```
'text'  nsfccl
```

Darin ist *text* ein beliebiger Kommentartext nicht vorgeschriebener Länge. *nsfccl* ist ein Integer, der die Anzahl vom Modell verwendeten Oberflächenbedeckungsklassen angibt. Über diese Zahl wird auch die Dimensionierung der in den Modellausgaben auftauchenden Bodenparameter bestimmt. Beispielsweise ist die Albedo dimensioniert als $albedo(0:nsfccl-1)$.

Block "vertikale Gitterkoordinaten":

Dieser Block beginnt in der fünften Zeile der Topographiedatei. Er enthält formatfrei die Höhen der vektoriellen (=w-Gitterpunkte) η -Flächen in m:

```
'text'  yzz(k), k = -1, nx3+1
```

Darin ist *text* ein beliebiger Kommentartext nicht vorgeschriebener Länge. Die Variable *yzz* bezeichnet die Höhen der η -Flächen, wenn die Orographie 0 m hätte. Die Werte sind zur Gitterkonstruktion erforderlich. Die Werte von *yzz* dürfen in Folgezeilen fortgesetzt werden. Die Höhe *yzz* ($k=nx3$) entspricht der Höhe des Modelloberrandes *yzt_{top}* (Anhang II). Bei der Festlegung der η -Flächen ist darauf zu achten, dass die Zunahme der Gitterweite 20% nicht übersteigt. Zwischen $k=-1$, $k=1$ und $k=2$ ist $\Delta yzz=20$ m einzuhalten.

Block "Eckkoordinaten":

Dieser Block enthält die modellinternen Koordinaten (in m) des vektoriellen u-Gitterpunkts bei $i=0$ und des vektoriellen v-Gitterpunkts bei $j=0$ im FORTRAN-Format 2 (7X, F9.0) :

```
'text'  yxmin  'text'  yymin
```

Dabei ist *text* ein beliebiger Kommentartext und *yxmin* bzw. *yymin* die modellinternen Koordinaten des Bezugspunktes des Modells.

Block "Topographiedaten":

Der letzte Block fasst die horizontalen Gitterweiten und topographische Daten zusammen. Die erste Zeile dieses Blocks definiert eindeutig, welche Oberflächenbedeckungsklassen (Anhang IV) im Modellgebiet vorhanden sind. Durch die Klassennummern wird die

Zuordnung zu spezifischen physikalischen Parametern festgelegt. Demnach kann, wie in dem Beispiel in Abbildung 3 aufgeführt, auch nur eine Oberflächenbedeckungsklasse auftauchen. Die Anzahl der Klassen muss allerdings mit der im Block „Oberflächenbedeckungsklassen“ angegebenen Zahl übereinstimmen.

Jede weitere Zeile enthält die Daten eines skalaren Gitterpunkts. Dabei wird das Modellgebiet, ausgehend vom Punkt $i=j=0$, für jeden j -Punkt in aufsteigender i -Richtung durchlaufen. Pro Zeile werden folgende Daten im FORTRAN-Format

`9X, 2 (F9.0, 1X), F7.2, 1X, 10 (F4.2, 1X), 1X, 2 (F12.6)` angegeben:

```
ydx(I) ydy(J) YZSURF SURFRA(N, J, I), ALON(J, I) ALAT(J, I)
           (J, I) N=0, nsfccl-1)
```

`ydx` ist die x -Gitterweite (in m) zwischen den vektoriellen u -Punkten, `ydy` die y -Gitterweite zwischen den vektoriellen v -Punkten. Bei der Festlegung der horizontalen Gitterweiten ist darauf zu achten, dass die Gitterweitzunahme bzw. -abnahme 20% nicht übersteigt.

`YZSURF` gibt die Geländehöhe in m über NN am skalaren Punkt an.

`SURFRA` sind die Anteile der Oberflächenbedeckungsklassen innerhalb der Gitterzelle (z.B. 0.15=15% der Fläche). Es sind die Anteile jeder in der 1. Zeile angegebenen Klasse aufzuführen, d.h. `SURFRA(0:nsfccl-1)`. Wie schon erwähnt erfolgt die Klassenzuordnung zu den verschiedenen, physikalischen Oberflächeneigenschaften im Programm nach der im Anhang IV aufgeführten Tabelle. Die Summe über alle Klassen muss 1 ergeben (100%).

`ALON` bzw. `ALAT` bezeichnet die geographischen Koordinaten des Gitterpunkts in der Einheit DD.MMSS (DD=Grad; MM=Minute; SS=Sekunde). Sie werden für die Eingabe- und Ausgabesteuerung benötigt. Ihre Zuordnung zu den Modellkoordinaten erfolgt über die Gitterprojektion (Abschnitt 1.6).

Senkrecht zu den Rändern des Modellgebiets sind Geländehöhe und Oberflächenbedeckungsanteile in Randnähe homogen vorzugeben (d.h. Werte bei $i=0$ sind identisch denen bei $i=1$ und $i=2$. Dies gilt analog für $i=nx1-1$ und $i=nx1$ und $i=nx1+1$. Ebenso ist die homogene Vorgabe in j -Richtung für die drei randnächsten Punkte vorzunehmen.

Hinweis: Am Ende der Datei darf keine Leerzeile sein, d.h. die letzte Zeile dieses Blocks darf nicht mit einem CR (carriage return) abgeschlossen sein! Dies führt zu einem Fehlerabbruch.

4.2.3 Restartdatei

Dateiname und Verzeichnis: wird durch Schlüsselwort `restart_file` in Steuerdatei `meitras_TAPE5` festgelegt

Die Restartdatei enthält alle für einen Restart (Warmstart) notwendigen Daten und muss nur in diesem Falle vorgegeben werden. Der Inhalt einer Restartdatei ist nicht identisch mit der binären Ausgabe der Modellergebnisse (Abbildung 2 in Kapitel 4). Sie ist eine Ausgabedatei der vorherigen Modellrechnung (Abschnitt 4.3.3) und enthält alle notwendigen Daten zur Definition des Modellgebietes sowie die aktuellen meteorologischen Felder und Modellparameter zum Zeitpunkt des Endes der vorherigen Rechnung

4.3 Ausgabedateien

4.3.1 Laufzeitprotokoll

Dateiname: `metras-rpt.nnn`

Verzeichnis: wird im Laufverzeichnis erzeugt

Das Laufzeitprotokoll enthält wichtige Informationen über den Fortschritt der Modellrechnung. Es wird automatisch in die Datei `metras-rpt.nnn` im Laufverzeichnis der Modellrechnung geschrieben, wobei `nnn` eine Zahl zwischen `000` und `999` ist. Liegen bereits ein oder mehrere Laufzeitprotokolle im Verzeichnis vor, so werden die aktuellen Protokolle unter der ersten noch nicht belegten Zahl `nnn` abgespeichert. Auf diese Weise wird ein Überschreiben vorhandener Protokolle verhindert.

Das Protokoll beinhaltet Basisinformationen zum Initialisierungsvorgang von METRAS-PCL und beinhaltet Informationen zur dreidimensionalen Modellrechnung. Das Laufzeitprotokoll sollte nach jeder Modellrechnung sorgfältig auf Fehlerhinweise überprüft werden. Im Fall eines kontrollierten Abbruchs der Rechnung (internes Abfangen einer Fehlerbedingung durch STOP-Anweisung) enthält das Laufzeitprotokoll neben der STOP-Meldung (Anhang III) häufig detaillierte Angaben zur Fehlerursache. Aber auch bei einem unkontrollierten Abbruch und selbst im Fall einer regulär abgeschlossenen Modellrechnung sollte eine sorgfältige Auswertung des Protokolls in Hinblick auf Unregelmäßigkeiten (z.B. Beginn numerischer Instabilität) erfolgen.

Die folgenden Abschnitte stellen typische Abschnitte eines Laufzeitprotokolls in Form von Abbildungen und kurzen Erklärungen dar. Je nach Anwendungsfall können sowohl zusätzliche Informationen enthalten sein als auch einzelne der hier erläuterten Abschnitte fehlen:

Abschnitt 1: Informationen zur Modellversion und Autoren, etc.

```

*****
*
*                               M E T R A S - P C L
*                               =====
*
* Version 5.0.0 beta 1
*
* Copyright (C) 2016
* Meteorological Institute, CEN, University of Hamburg, Germany
*
* Realisation by K.H. Schluenzen, R.Petrik, D.Grawe, V.Reinhardt
* (Meteorological Institute, University of Hamburg, Germany).
* Partially funded by the Umweltbundesamt (Dessau-Rosslau,, Germany).
* METRAS-PCL is based on the mesoscale model METRAS.
*
* METRAS-PCL comes with absolutely no warranty.
* For details see LICENCE.TXT
*
*****

```

Abbildung 4: Beginn des Laufzeitprotokolls.

Abschnitt 2: Rechengenauigkeit / Typen und OpenMP-Environment

```

-----
| METRAS-PCL run started at 2016-05-04 15:27:37 |
-----

-----
| Meaning of following messages: |
| I#nnn: information message no. nnn |
| W#nnn: warning error message no. nnn |
| F#nnn: fatal error message no. nnn |
-----

==> OpenMP settings:
number of available processors: 16
maximum numbers of threads   : 2
omp_dynamic                   : F

```

Abbildung 5: Informationen zur Rechengenauigkeit im Laufzeitprotokoll.

Um eine vergleichbare Rechengenauigkeit unter verschiedenen Betriebssystemen zu gewährleisten, werden in METRAS-PCL Typvereinbarungen mit der in FORTRAN 90 möglichen Typspezifikation `KIND=${wert}` getroffen. Nach dem Anlegen der Modellvariablen erfolgt an dieser Stelle eine zweimalige Kontrollmeldung über den verwendeten Typ. `KIND` beträgt für Realgrößen immer 8, für Integergrößen immer 4. Darüber hinaus wird im Falle einer Rechnung mit einer parallelisierten OpenMP-Version die Anzahl der auf dem Rechnersystem verfügbaren und für die Modellrechnung verwendeten Threads angegeben.

Abschnitt 3: 1D-Initialisierungsphase

```

-----
--> |  Initialisation started  |
-----

METRAS-PCL runs a 1d-initialisation, because no restart file is specified.

info sel_oingaf: Parameters of the landuse classes occurring in the GA-File
-----

MEMI-Number  Name                ALBEDO  THEDIF  THECON  THDEEP
  3100  grass, short, dry              0.20    5.200E-07  1.33    0.21

MEMI-Number  Name                QVCONT  QVDEEP  YZ0CLS  SFCURB  SFCWAT  SFCICE
  3100  grass, short, dry              0.350   0.050   0.01000  0        0        0

info sel_oingaf:
selected grid point for 1d-initialization:  INILON =  1 , INILAT =  1
-----

ZSURF =  0.00
MEMI-Number   :  3100
Area fractions:  1.00
-----

#####
I#999: Initialisation finished. No fatal error detected.
      Stationarity achieved!
      (called by routine sel_mltini)
#####
*****  0 warning errors detected

```

Abbildung 6: Informationen zu den balancierten Anfangswerten (1D Initialisierungsphase) im Laufzeitprotokoll.

Meldung über Beginn und Abschluss der 1d-Initialisierungsphase (Balancierung der Initialisierungsprofile) wird ausgegeben. Der für die Initialisierung verwendete Gitterpunkt wird angegeben, sowie die dortigen topographischen Eigenschaften. Außerdem werden die Eigenschaften der im Modellgebiet vorhandenen Oberflächenbedeckungsklassen ausgegeben.

Abschnitt 4: Initialisierung des 3D-Modells

```

-----
--> | 3d-simulation started |
-----

METRAS-PCL runs a 3d-model simulation after the initialisation.

=====
BOTTOM BOUNDARY CONDITION
Calculation without changing surface temperature and humidity
=====
=====
Open output files
-----
Run control data of pressure solver (ASCII):
./output//ASGADummy.000
Model output for plotting (Binary):
./output//BPGADummy.000
Model output for plotting (ASCII)
./output//APGADummy.000
Output of time series at these grid points (ASCII):
./output//AL01_GADummy.000
./output//AL02_GADummy.000
./output//AL03_GADummy.000
./output//AL04_GADummy.000
./output//AL05_GADummy.000
Model control data, time series mean values (ASCII):
./output//AMGADummy.000

```

Abbildung 7: Informationen zur Initialisierung des 3D-Modells im Laufzeitprotokoll.

Meldungen werden ausgegeben über Beginn der 3d-Simulation, Informationen zur Berechnung der Oberflächentemperatur und -feuchte (hier ohne Berechnung, d.h. ohne Tagesgang) sowie Informationen über die für die Ergebnisausgabe geöffneten Dateien.

Abschnitt 5: Ausgabe einiger Kontrollgrößen

```

=====
Control values at end of initialisation routine OINMET:
-----
Latitude:    50.00 [deg]
Longitude:   10.00 [deg]
Rotation by:  0.00 [deg]
Declination: 19.14 [deg]
DATE:        2016-05-17
jul. day:    137
-----

Output of time series at these grid points:
      K      J      I      File
-----
      5      4      1      ./output//AL01_GADummy.000
      5      4      1      ./output//AL02_GADummy.000
      5      4      1      ./output//AL03_GADummy.000
      1      4      1      ./output//AL04_GADummy.000
      5      4      1      ./output//AL05_GADummy.000
-----

info ochkdi:
=====
===                               Grid dimensions                               ===
=====
      NX1 = 170      NX2 = 4      NX3 = 63

```

Abbildung 8: Ausgabe einiger Kontrollgrößen für die 3D-Simulation im Laufzeitprotokoll.

Der erste Abschnitt enthält die geographischen Koordinaten des Bezugspunktes, den Drehwinkel des Modellgebiets und die Deklination der Sonne für den Simulationstag, jeweils in Dezimaldarstellung, sowie das Datum und der julianische Tag der Simulation. Es folgt die Liste der Gitterpunkte für die Ausgabe von Zeitserien der Modellergebnisse. Abschließend erfolgt die Ausgabe der verwendeten Gittergröße.

Abschnitt 6: Details zur Zeitschrittberechnung

```

-----
info se_metras: starting integration
-----

|=====|
| OZEIT at JN=      1  ZEIT=    0.0000 : Calculation of time step |
|-----|
| grid point | possible time step due to ... [sec] |
| JK  JJ  JI | x-Adv. y-Adv. z-Adv. Dif.xy Dif.ze Dif.zi  Accr  Sedim. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
|   5   1  25 |  42.22 138.02  20.00 ***** 309.97 619.94 |
|-99 -99 -99 |                                     ***** ***** |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Total timestep for:   dry-expl  dry-impl  liquids |
|                       11.88     12.11  ***** |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Old time step:       0.10 sec. |
| New time step:       5.00 sec. ( Vertical diffusion: EXPLICIT ) |
| ktsplit ON => 1 * 5.00 sec. for cloud time step |
|=====|
| OZEIT information: To prevent late instabilities the time-step during |
|                   initialisation was set to 50 % of the permissible |
|                   time step ( = 10.00 sec. ) ! |
|=====|
| OZEIT at JN=     13  ZEIT=    0.0100 : Calculation of time step |
|-----|
| grid point | possible time step due to ... [sec] |
| JK  JJ  JI | x-Adv. y-Adv. z-Adv. Dif.xy Dif.ze Dif.zi  Accr  Sedim. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
|   6   1  82 |  37.01 183.89  12.66 ***** 384.86 769.73 |
|-99 -99 -99 |                                     ***** ***** |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Total timestep for:   dry-expl  dry-impl  liquids |
|                       8.77     8.87  ***** |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Old time step:       5.00 sec. |
| New time step:       3.75 sec. ( Vertical diffusion: EXPLICIT ) |
| ktsplit ON => 1 * 3.75 sec. for cloud time step |
|=====|
| OZEIT information: To prevent late instabilities the time-step during |
|                   initialisation was set to 50 % of the permissible |
|                   time step ( = 7.50 sec. ) ! |
|=====|

```

Abbildung 9: Informationen zu den verwendeten Modellzeitschritten im Laufzeitprotokoll.

Es erfolgt regelmäßig eine Neuberechnung der Zeitschrittlänge, die aufgrund der aktuellen meteorologischen Situation und auf Basis der bekannten numerischen Stabilitätskriterien zulässig ist. Im Beispiel erfolgt die Berechnung zum Zeitschritt $JN=1$ bzw. zur Modellzeit 0.00 und $JN=13$ bzw. zur Modellzeit 0.01 (ZEIT im Format ddhh.mmss; dd=Simulationstag; hh=Stunde; mm=Minute; ss=Sekunde). Der maximal zulässige Zeitschritt aufgrund der Advektion wäre in diesem Fall 42.22 s (x-Richtung), 138.02 s (y-Richtung), 20.00 s (z-Richtung) gewesen. Der Zeitschritt aufgrund der Horizontaldiffusion wäre größer als 999.99 s (im Ausgabeformat mit F6.2 nicht mehr darstellbar, deshalb "*****"). Bei expliziter Berechnung der Vertikaldiffusion wäre ein Zeitschritt von 309.97 s, bei impliziter Berechnung von 619.94 s zulässig. Die letzten beiden Spalten enthalten unter "Accr" und "Sedim." immer den Wert "*****". Diese Spalten sind in der eingeschränkten METRAS-PCL Version ohne Bedeutung. Als zulässiger Gesamtzeitschritt ergab sich bei einem expliziten Verfahren für die Vertikaldiffusion ein Wert von 11.88 s, bei dem

impliziten Verfahren von 12.11 s (=maximale Zeitschrittlänge). Während der Initialisierungsphase mit höherer Rechengenauigkeit wird der Zeitschritt grundsätzlich auf die Hälfte der berechneten Zeitschrittlänge gesetzt.

Abschnitt 7: Ausgabe von Modellergebnissen

Binary+Ascii plot-output: write A-structure at time =	0.0300
Binary+Ascii plot-output: write G-structure at time =	0.0300
Binary+Ascii plot-output: write M-structure at time =	0.0300

Abbildung 10: Informationen zu Ausgabezeitpunkten im Laufzeitprotokoll.

Nach jeder Ausgabe einer A-, G- oder M-Struktur in die binäre oder formatgebundene Modellergebnisdatei (Abschnitt 4.3.2) wird die Ausgabe unter Angabe der Uhrzeit protokolliert. Anhand des Protokolls lässt sich so feststellen, welche Ausgabezeiten in der Ausgabedatei enthalten sind.

Abschnitt 8: Inhalt der Ausgabedateien

Information über die in den formatierten und unformatierten Ausgabedateien enthaltenen A-, G- oder M-Strukturen werden ausgegeben (vergleiche Abschnitt 4.3.2).

Falls die relative Feuchte einen Wert von 110% über Wasser oder über Eis überschreitet, wird im Protokoll einmalig eine Warnung ausgegeben. Die Modellrechnung wird weitergeführt, die Modellergebnisse sollten gewissenhaft auf ihre Glaubwürdigkeit hin geprüft werden. Realitätsnäher wäre in einer derartigen Situation eine Modellrechnung unter Berücksichtigung von Wolkenbildungsprozessen.

Abschnitt 9: Simulationsende

```

info se_metras, si_write_restartdata:
=====
Write restart data at time = 100.1145
to file ./SUITE-out/BRharz.010
=====

A T T E N T I O N !
The model run could not be finished,
due to wall-clock time limit.
RESTART is REQUIRED !
=====

#####
I#996: Premature end of model run. No fatal error detected.
(called by routine se_metras, si_finalwork)
#####
***** 1 warning errors detected

-----
| METRAS-PCL run finished at 2016-05-04 15:28:23 |
-----

```

Abbildung 11: Informationen zum Modellauf am Simulationsende im Laufzeitprotokoll.

Zum Abschluss werden Informationen über die Speicherung des finalen Modellzustandes in die Restartdatei ausgegeben und über den erfolgreichen Abschluss der Simulation oder über das Erreichen des Wallclock-Limits informiert („Premature end of model run“).

4.3.2 Formatgebundene Modellergebnisse

Dateiname: setzt sich aus dem in der Steuerdatei `meitras_TAPE5` festgelegten Wert des Schlüsselwortes `casename` und den Anfangsbuchstaben 'AP' und der Endung `.nnn` (eine fortlaufende Nummer) zusammen

Verzeichnis: Ausgabeverzeichnis

Der Inhalt der Datei für die formatgebundene Ausgabe der Modellergebnisse wird vom Anwender über eine Liste von Recordnummern bestimmt, die der Namelistvariablen `output_records` in der Steuerdatei `meitras_TAPE5` zugewiesen wird. Ein ausführliches Verzeichnis der Recordnummern, der zugehörigen Ausgabegrößen sowie deren Dimensionen findet sich im Anhang II.

Die Ausgabe der Modellergebnisse von METRAS-PCL gliedert sich in einen "Header" und drei Ausgabestrukturen:

Der **Header** besteht aus einer Zeile mit vier Größen: Dimension der Modellrechnung (in METRAS-PCL immer: "3"), Anzahl skalarer Gitterpunkte im Modellgebiet in z-, y- und x-Richtung (`nx3`, `nx2` und `nx1`).

A-Ausgabestruktur: Diese Ausgabestruktur enthält Anfangswerte und zeitunabhängige Größen der Modellrechnung. Hierzu zählen z.B. Steuerparameter, Topographiedaten und Gitterweiten. Die Auswahl bestimmter Modellparameter, -variablen und -felder erfolgt über die Angabe von zweistelligen Recordnummern in der Werteliste der Namelistvariablen `output_records`. Die A-Ausgabestruktur steht (falls entsprechende Recordnummern ausgewählt wurden) normalerweise einmal am Anfang der Ausgabedatei.

G-Ausgabestruktur: In dieser Ausgabestruktur sind die großskaligen meteorologischen Felder zusammengefasst. Ihre Auswahl erfolgt über die Angabe dreistelliger Recordnummern. Erfolgt die erste Ausgabe innerhalb der Diastrophie, wird die A-Struktur und die G-Struktur nach Beendigung der Diastrophie nochmals aktualisiert ausgegeben. Die neuen A-Strukturen gelten dann für alle folgenden M-Strukturen. Diese Felder sind in METRAS-PCL zeitunabhängig. Die Ausgabe der G-Strukturen erfolgt deshalb nur nach Ausgabe der A-Strukturen (falls entsprechende Recordnummern ausgewählt wurden).

M-Ausgabestruktur: Alle zeitabhängigen, d.h. überwiegend mesoskalige Größen, werden in dieser Ausgabestruktur zusammengefasst. Die zugehörigen Recordnummern sind vierstellig. Eine Ausgabe der M-Struktur erfolgt jeweils zu den durch die Schlüsselworte `firstoutput_time` und `output_interval` definierten Zeitschritten bzw. Zeitpunkten. Um die ausgegebenen Größen der richtigen Modellzeit zuordnen zu können, sollte grundsätzlich immer die Recordnummer 1000 (Zeitpunkt und Zeitschritt) mit in der Recordliste `output_records` angegeben werden.

Die Ausgabe erfolgt nach folgenden Regeln:

1. Jeder Ausgabestruktur wird die Anzahl der Recordnummern sowie eine Liste der Recordnummern dieser Struktur vorangestellt.
2. In der Reihenfolge der Recordnummern werden die zugehörigen Felder ausgegeben. Dabei wird pro Variable / Feld eine eigene WRITE-Anweisung ausgeführt (**nicht** pro Recordnummer!).
3. Alle WRITE-Anweisungen werden einheitlich mit dem FORTRAN-Format `10 (E15.9, 1X)` ausgeführt.

Beispiel 1:

In der Steuerdatei werden folgende Recordnummern gewählt:

`outrecord_no = 11 14 200 1000 2000`. Ausgegeben werden also (Anhang II):

Ein- und Ausgabedateien

Header		3 nx3 nx2 nx1	
A-Ausgabestruktur	Anzahl der Recordnummern in A		2
	Recordnummern in A		11 14
	Record 11	VAR 1	yxmin
		VAR 2	ydx (0:nx1+1)
		VAR 3	yta (0:nx1)
		VAR 4	XVMET (0:nx1)
		VAR 5	Dummy (0:nx1+1)
		VAR 6	Dummy (0:nx1+1)
Record 14	Analog zu Record 11		
G-Ausgabestruktur	Analog zu A		
M-Ausgabestruktur	Analog zu A		

Abbildung 12: Beispiel für Ausgaberecords in der Ergebnisdatei.

Die vom Modell erzeugte Ausgabe entspricht, wenn sie zu **zwei** Zeitpunkten erfolgt, einem FORTRAN 90 Code folgender Form:

```
!
! Typdeklarationen
!
INTEGER nx1, nx2, nx3, n, noreca, norecg, norecm
REAL zdim, yxmin, ydx(0:nx1+1), yta(0:nx1), xvmet(0:nx1), dummy(0:nx1+1) &
& , zmmi, ytd(0:nx2+1, 0:nx1+1), ug(0:nx3+1, 0:nx2+1, 0:nx1), &
& , zeit, jn, dt, dtold, ut(0:nx3+1, 0:nx2+1, 0:nx1), znoreca &
& , znorecg, znorecm, stra(1:100), strg(1:900), strm(1:9000)
!
! Headerzeile schreiben
!
zdim = 3.
WRITE(60,8000) zdim , float(nx3) ,float(nx2) ,float(nx1)
!
! Recordnummern zuweisen
!
noreca = 2
znoreca = 2.
stra(1) = 11.
stra(2) = 14.
norecg = 1
znorecg = 1.
strg(1) = 200.
norecm = 2
znorecm = 2.
strm(1) = 1000.
strm(2) = 2000.
!
!...
!
! Ausgabestruktur A
!
WRITE(60,8000) znoreca
WRITE(60,8000) (stra(n), n=1,noreca)
WRITE(60,8000) yxmin
WRITE(60,8000) ydx
WRITE(60,8000) yta
WRITE(60,8000) xvmet
WRITE(60,8000) dummy
WRITE(60,8000) dummy
WRITE(60,8000) zmmi
```

```
WRITE(60,8000) ytd
!
! G-Ausgabestruktur
!
WRITE(60,8000) znorecg
WRITE(60,8000) (strg(n), n=1,norecg)
WRITE(60,8000)UG
!
! M-Ausgabestruktur (1. Ausgabe)
!
WRITE(60,8000) znorecm
WRITE(60,8000) (strm(n), n=1,norecm)
WRITE(60,8000) zeit
WRITE(60,8000) jn
WRITE(60,8000) dt
WRITE(60,8000) dtold
WRITE(60,8000) ut
!
!...
!
!
! M-Ausgabestruktur (2. Ausgabe)
!
WRITE(60,8000) znorecm
WRITE(60,8000) (strm(n), n=1,norecm)
WRITE(60,8000) zeit
WRITE(60,8000) jn
WRITE(60,8000) dt
WRITE(60,8000) dtold
WRITE(60,8000) ut
!
! Format
!
8000 FORMAT(10(E15.9,1X))
```

Beispiel 2:

Die A-Recordnummern 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 (Anhang II) werden ausgegeben. Abbildung 13 enthält beispielhafte Werte in der Ergebnisdatei. Zeile 1 enthält den Header, Zeile 2 die Anzahl der A-Recordnummern. Dann folgen die Recordnummern. In Zeile 4 beginnt der Inhalt der Recordnummer 10. Diese Recordnummer hat 6 Zeilen der Dimension 10 (Anhang II), folglich beginnt die Recordnummer 11 in Zeile 10.

1	0.300000000E+01	0.320000000E+02	0.300000000E+02	0.300000000E+02	
2	0.100000000E+02				
3	0.100000000E+02	0.110000000E+02	0.120000000E+02	0.130000000E+02	0.140000000E+02
	0.150000000E+02	0.160000000E+02	0.170000000E+02	0.180000000E+02	0.190000000E+02
4	0.100000000E+00	0.100000000E+00	0.200000000E+00	0.200000000E+00	0.200000000E+00
	0.150000000E+00	0.200000000E+00	0.150000000E+00	0.100000000E+00	0.150000000E+00
5	0.150000000E-06	0.740000000E-06	0.570000000E-06	0.520000000E-06	0.520000000E-06
	0.240000000E-06	0.520000000E-06	0.800000000E-06	0.800000000E-06	0.230000000E-05
6	0.100000000E+03	0.220000000E+01	0.105000000E+01	0.133000000E+01	0.133000000E+01
	0.300000000E+00	0.133000000E+01	0.216000000E+01	0.216000000E+01	0.460000000E+01
7	0.113841996E+00	0.252855690E+00	0.221918904E+00	0.211962261E+00	0.211962261E+00
	0.144000000E+00	0.211962261E+00	0.262906828E+00	0.262906828E+00	0.445780215E+00
8	0.100000000E+03	0.322000000E+00	0.260000000E-01	0.138000000E+00	0.150000000E-01
	0.423000000E+00	0.810000000E-01	0.121000000E+00	0.161000000E+00	0.968000000E+00
9	0.150000000E-04	0.200000000E-03	0.300000000E-03	0.100000000E-01	0.100000000E-01
	0.500000000E-01	0.100000000E+00	0.100000000E+01	0.120000000E+01	0.700000000E+00
10	-0.750000000E+05				
11	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04
	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04
12	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04
	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04
13	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04
	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04
14	0.500000000E+04	0.500000000E+04			
15	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04
	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04
16	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04
	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04	0.500000000E+04
17	...				
18	-0.750000000E+05	-0.700000000E+05	-0.650000000E+05	-0.600000000E+05	
	-0.550000000E+05	-0.500000000E+05	-0.450000000E+05	-0.400000000E+05	
	-0.350000000E+05	-0.300000000E+05			
19	-0.250000000E+05	-0.200000000E+05	-0.150000000E+05	-0.100000000E+05	
	-0.500000000E+04	0.000000000E+00	0.500000000E+04	0.100000000E+05	0.150000000E+05
	0.200000000E+05				
20	0.250000000E+05	0.300000000E+05	0.350000000E+05	0.400000000E+05	0.450000000E+05
	0.500000000E+05	0.550000000E+05	0.600000000E+05	0.650000000E+05	0.700000000E+05
21	0.750000000E+05				
22	0.500000000E+00	0.500000000E+00	0.500000000E+00	0.500000000E+00	

Abbildung 13: Beispielhafte Werte für A-Records in der Ergebnisdatei.

4.3.3 Modellzustand (binäre Datei für Restart)

Dateiname: setzt sich aus dem in der Steuerdatei `meitras_TAPE5` festgelegten Wert des Schlüsselwortes `casename` und den Anfangsbuchstaben 'BR' sowie der Endung `.nnn` (laufende Nummer) zusammen

Verzeichnis: Ausgabeverzeichnis

Jede Modellrechnung erzeugt zum Simulationsende ein Abbild des Modellzustandes, welcher in eine binäre Ausgabedatei gespeichert wird. Diese enthält alle Größen (Anfangswerte, großskalige und mesoskalige Felder, Modellparameter), die für eine spätere Fortsetzung der Rechnung benötigt werden. Bei einem anschließenden Restart der Modellrechnung muss diese Binärdatei

als Eingabedatei (Namelistvariable `restart_file` in Steuerdatei `meitras_TAPE5`) bereitgestellt werden.

Hinweis: Diese Datei dient ausschließlich als Eingabe für einen möglichen Restart. Änderungen an dieser Datei führen zu einem Absturz der Restartrechnung!

4.3.4 Zeitserien an verschiedenen Kontrollpunkten

Dateiname: setzt sich aus dem in der Steuerdatei `meitras_TAPE5` festgelegten Wert der Namelistvariable `casename`, dem Präfix `'ALmm_'` und der Endung `.nnn` (laufende Nummer). Die aufsteigende Kennung `mm` richtet sich nach der Reihenfolge der in der Steuerdatei angegebenen Zeitserienstandorte.

Verzeichnis: Ausgabeverzeichnis

Inhalt dieser Dateien ist eine Zeitserie der zu jedem Modellzeitschritt an den Kontrollgitterpunkten berechneten Größen. Die Kontrollgitterpunkte werden in Form von Listen an die Namelistvariablen `timeseries_lon`, `timeseries_lat` und `timeseries_height` übergeben. Die für die Zeitserienausgabe berechneten Größen sind in METRAS-PCL die Windkomponenten `ut`, `vt`, `wt`, der Luftdruck `presum`, die Lufttemperatur `trsum` und die spezifische Feuchte `qvsum`. Zur Erläuterung dieser Felder siehe Anhang II. `trsum` bezieht sich auf die mittlere Realtemperatur. Die Ausgabe erfolgt formatgebunden. Das Format und die Namen der ausgegebenen Größen sind Bestandteil der Datei, so dass Formatanweisungen und Beschriftungen in nachgeschalteten Programmen (z.B. Zeitserienplot) dynamischer erfolgen können.

Abbildung 14 erläutert den Aufbau der Zeitseriendatei. Nach einer Leerzeile enthalten die nächsten vier Zeilen Angaben zu der Laufkennung (hier: "DUMMY"), dem Ausgabepunkt in Gitterkoordinaten ("`MMK=5`" in z-Richtung, "`MMJ=14`" in y-Richtung, "`MMI=1`" in x-Richtung) und dem Ausgabepunkt in geographischen Koordinaten (Länge, Breite, Höhe über Grund).

Die sechste Zeile enthält das FORTRAN-Format des Datenheaders. In der siebten Zeile folgt das für die Daten gültige FORTRAN-Format, welches ab Zeile 9 zur Anwendung kommt. Zeile 8 enthält die Namen der ausgegebenen Variablen.

1	
2	model results of program *m3tras* datainput by use of file *DUMMY*
3	output of control values at grid point with
4	following position : yzz= 112. elat= 51.3628 elon= 9.2704
5	following coordinates: mmk= 5 mmj = 14 mmi = 1
6	format header : (16X, 6(4X,A8))
7	format data : (1x,i6,1x,f10.5,1x, 6(1x,e11.5))
8	ut vt wt presum trsum qvsum
9	0 8.00000 0.53855E+01 0.29909E+00 0.00000E+00 0.99382E+05 0.28239E+03 0.43516E-02
10	1 8.00075 0.53837E+01 0.29797E+00 -.20281E-04 0.99297E+05 0.28236E+03 0.43348E-02
11	2 8.00150 0.53831E+01 0.29914E+00 -.44618E-04 0.99222E+05 0.28233E+03 0.43181E-02
12	3 8.00225 0.53825E+01 0.30039E+00 -.70547E-04 0.99127E+05 0.28229E+03 0.43014E-02

Abbildung 14: Beispiel einer Zeitseriendatei.

Ab Zeile 9 werden die berechneten Werte zu jedem Zeitschritt ausgegeben. Der erste Wert ist die Nummer des Zeitschritts, der zweite Wert die Uhrzeit in der Einheit `ddhh.mmsss` (`dd`=Simulationstag; `hh`=Stunde; `mm`=Minute; `sss`=10-tel Sekunde). Anschließend folgen die Werte der in Zeile 8 benannten Variablen.

5 Vorbereitung und Durchführung einer Modellrechnung

In diesem Kapitel wird die Vorbereitung und Durchführung von Modellrechnungen anhand eines Beispiels Schritt für Schritt erläutert. Die Beispieltopographie `GAdummy` wird verwendet. Die Simulation (Kaltstart) beginnt für den 21. Juni um 0⁰⁰ und endet 1⁰⁰ des gleichen Tages.

5.1 Schritt 1: Laufverzeichnis erstellen

Empfehlenswert ist aus Gründen der Übersichtlichkeit für jede Modellrechnung mit dem Kommando `mkdir dummy1` ein Laufverzeichnis anzulegen, z.B. in dem Verzeichnis `.../metras-pcl/Simulationen/`. Der Name des Laufverzeichnisses und der Pfad sind nicht vorgeschrieben. Mit `cd dummy1` wird in dieses Directory gewechselt und die Steuerdatei aus dem Installationsverzeichnis (Abschnitt 3.2) in das Laufverzeichnis kopiert.

5.2 Schritt 2: Modellgebiet und Gitter festlegen

Das Modellgebiet soll eine Erstreckung z.B. von etwa 60 km in West-Ost-Richtung und 1 km in Nord-Süd-Richtung haben. Es wird ein nichtäquidistantes horizontales Gitter mit einer Auflösung von 250 m im Modellinneren verwendet, welches zum Außenrand hin gröber wird (1000 m). Der Bezugspunkt des Modellgebietes wird zu 10° 0' E / 50° 0' N festgelegt. Alle Modellkoordinaten werden bezüglich dieses Punktes berechnet. Das Modellgebiet ist in West-Ost (x-Richtung) und Süd-Nord (y-Richtung) ausgerichtet.

Vertikal soll das Modellgebiet 63 Gitterebenen umfassen, wobei die vertikale Gitterweite entsprechend einem Spreizungsfaktor von 1.075 von bodennah 20 m bis auf 800 m am Modelloberrand (etwa in 15.8 km Höhe) anwachsen soll.

Einschließlich der Randgitterpunkte umfasst das Modellgebiet 65x6x172 Punkte (z-, y-, x-Richtung). Für die Parameter der Gitterdimensionierung ergibt sich somit $n_{x1}=170$, $n_{x2}=4$, $n_{x3}=65$.

Für jeden Gitterpunkt des Modellgebietes sind

- die horizontalen Gitterweiten in x- und y-Richtung (nichtäquidistant),
- die geographischen Koordinaten des skalaren Punktes,
- die mittlere Orographiehöhe,
- die Anteile der `nsfcc1` Oberflächenbedeckungsklassen (Anhang IV) am Gitterpunkt (in diesem Fall wird nur die Oberflächenbedeckungsklasse 3100 verwendet)

festzulegen. Dies kann z.B. durch Digitalisierung von topographischen Karten erfolgen. Abbildung 3 zeigt, wie der Anfang der Topographie-datei aussieht.

5.3 Schritt 3: Topographiedaten verwenden

Die neu erstellte Topographiedatei wird als `GAdummy` (oder entsprechend der Einstellung für das Schlüsselwort `topo_file` in der Steuerdatei `metras_TAPE5`) im Laufverzeichnis gespeichert.

Um Schritt 2 und 3 in diesem Beispiel abzukürzen, kann die mitgelieferte Datei `GAdummy` kopiert werden. Für andere Gebiete müssen andere Topographiedateien erzeugt werden.

5.4 Schritt 4: Meteorologische Eingabedaten festlegen

Als meteorologische Situation wird eine Anströmung aus Westen gewählt. Der Bodendruck soll 1013.25 hPa betragen, die atmosphärische Schichtung leicht stabil sein mit einem potentiellen Temperaturgradienten von 0.0030 K/m. Die bodennahe Temperatur zum Simulationsbeginn (0⁰⁰) liege bei 288 K \cong 15°C. Die bodennahe relative Feuchte beträgt 50%, linear abnehmend auf 5% in 11 km Höhe (5% in 11 km Höhe sind im Modell als Standard eingetragen). Da die aktuelle Version von METRAS-PCL kein Wolkenmodul enthält, sollte darauf geachtet werden das die relative Feuchte entsprechend VDI 3783 Blatt 7 110 % nicht überschreitet.

5.5 Schritt 5: Steuerdatei erstellen

Die meteorologischen Initialisierungsdaten sowie Steuerparameter werden in der Steuerdatei `meitras_TAPE5` vorgegeben. Die Steuerdatei kann mit einem beliebigen Texteditor bearbeitet werden. In der Steuerdatei müssen bestimmte Namelistvariablen aus den Blöcken `&CONTROL` und `&METEO` gesetzt werden, es sind aber nicht alle Namelistvariablen nötig (Abschnitt 4.2.1). Nach den Namelistvariablen und den ihnen zugewiesenen Werten dürfen Kommentare mit `'!` eingefügt werden (Abschnitt 4.2.1).

Die Simulation startet für 0⁰⁰ und alle Ausgabedateien erhalten die Kennung `dummy`. Die Diastrophie (= "Anwachsen" der Orographie) soll für 3 Minuten erfolgen und die Simulation um 1⁰⁰ enden. Ausgaben der Modellergebnisse werden zum ersten Mal um 0³⁰, dann in halbstündigen Intervallen gewünscht. Das Ausgabeverzeichnis wird festgelegt und muss vor dem Modelllauf angelegt werden. Aus der Liste der möglichen Ausgabegrößen (Anhang II) werden einige Anfangs-, großskalige und mesoskalige Feldgrößen gezeigt:

```
casename           = 'dummy',
start_datetime     = '2016-05-17T00:00:00',
end_time           = 'day00T01:00',
firstoutput_time   = 'day00T00:30',
output_interval    = 'day00T00:30',
outputdir          = './',
topogrow_time      = 3,
output_records     = ${liste}
```

Es handelt sich um einen Kaltstart, also wird keine Restartdatei angegeben. Die Modellrechnung wird ohne Tagesgang von Temperatur und Feuchte durchgeführt und der Modellzeitschritt soll numerisch möglichst sicher gewählt werden. Ein Wallclock limit wird nicht gesetzt, d.h. die Rechnung läuft bis zum angegebenen Simulationsende:

```
diurnal_cycle      = 0
timestep_factor    = 1.0E0,
```

Zwei Kontrollpunkte werden für die Zeitserienausgabe gewählt:

```
ntimeseries        = 2,
timeseries_lon     = '6.3700 7.0060',
timeseries_lat     = '51.3930 51.2710',
timeseries_height  = '100. 100.'
```

Die Topographiedatei liegt im Laufverzeichnis und heißt

```
topo_file = ./GAdummy
```

Schließlich sind noch die meteorologischen Initialisierungsdaten vorzugeben. Der Ort des Initialisierungsprofils soll vom Modell selbst bestimmt werden ("niedrigster, rauester Gitterpunkt"):

```
ini_lon      = -200.,
ini_lat      = -200.,
sur_pressure = 101325.0,
wind_kanz    = 1,
wind_height  = '0.0',
u_value      = '5.0',
v_value      = '0.0',
treal_kanz   = 1,
treal_height = '0.0',
treal_value  = '288.0',
dtpotdz_kanz = 2,
dtpotdz_height = '0.0 2000.0',
dtpotdz_value = '0.0030 0.0030',
rh_kanz      = 1,
rh_height    = '0.0',
rh_value     = '50.0',
treal_insoil = 10.0,
treal_water  = 10.0,
ndrydays    = 0,
```

Damit liegen alle Eingabedaten vor.

5.6 Schritt 6: Modellrechnung starten

5.6.1 Kaltstart

Die Simulation wird mit dem Befehl `'nohup ./METRAS-PCL_5.0.0 &'` im Laufverzeichnis gestartet.

5.6.2 Warmstart (Restart)

Vor einer Fortsetzung der Rechnung für den Zeitraum von 100 bis 300 sollten die Protokolldateien `metras-rpt.000` (im Laufverzeichnis) sowie die Zeitserien `AL01dummy.000`, `AL02dummy.000` (Ausgabeverzeichnis) und `AMdummy.000` (im Laufverzeichnis) auf Fehlerhinweise kontrolliert werden und mit den Beispieldateien verglichen werden, die mit dem Modell ausgeliefert wurden.

Für den Restart sind nur wenige Änderungen in der Steuerdatei `metras_TAPE5` notwendig.

Das Ende des Simulationslaufs wird durch

```
end_time = 'day00T03:00',
auf300 geändert. Zur Restartsteuerung wird
restart_file = 'BRdummy.000'
```

gesetzt.

Die für den Restart überflüssigen Angaben zum meteorologischen Initialisierungsprofil können, müssen aber nicht auskommentiert werden. Sie werden vom Modell ignoriert.

Die zweite Modellrechnung wird analog zum Kaltstart (Abschnitt 5.6.1) gestartet.

Auch nach dieser Rechnung ist die Protokolldatei `metras-rpt.001` (im Laufverzeichnis) sowie die Zeitserien `AL01dummy.001`, `AL02dummy.001` und `AMdummy.001` auf Fehlerhinweise zu kontrollieren.

Die den Ausgabedateien hinzugefügten laufenden Nummern, wie sie hier mit 000 (Kaltstart) und 001 (Restart) angegeben sind, gelten nur im Falle eines reibungslosen Kaltstart- und Restartvorgangs. Anderenfalls werden Dateien mit weiteren Kennungen in Abhängigkeit vom Erfolg des jeweiligen Startvorgangs erzeugt.

6 Beispielrechnung

Beispielhaft wird hier das Ergebnis für das mit METRAS-PCL gelieferte Anwendungsbeispiel gezeigt.

Die Eingabedateien für diesen Modellauf (meitras_TAPE5, GA_Sinus) sind im Ordner Beispiel enthalten. Der Modellauf wurde mit den dort zu findenden Eingabedateien durchgeführt. Bei der Modellrechnung beträgt die reibungsfreie Anströmgeschwindigkeit 10 m/s; drei aufeinander folgende Bergrücken, die je eine glockenförmige Form haben, werden bei stabiler Schichtung überströmt. Der Testfall ist an Schär et al. (2002) angelehnt. Die Rechnung erfolgt ohne Tagesgang und die Atmosphäre ist stabil geschichtet: $\partial\theta/\partial z = 0.003 \text{ K m}^{-1}$. Infolge der Bergüberströmung werden Schwerewellen ausgelöst. Die Schwerewellen bestehen einerseits aus großskaligen hydrostatischen Wellen, die sich in vertikaler Richtung ausbreiten, und aus kleinskaligeren Wellen, die durch die im Testfall vorgegebene Topographie hervorgerufen werden und welche sich durch nichthydrostatische Effekte in vertikaler Richtung und leeseitig ausbreiten. Eine ausführliche Diskussion der Schwerewellenlösung findet sich in Klemp et al. (2003).

Beispielhaft werden hier Ergebnisse der Simulation nach 4 Stunden Integrationszeit und unter Verwendung der mit METRAS-PCL gelieferten Eingangsdaten gezeigt (Abbildung 7a). Die mit METRAS-PCL errechnete Lösung zeigt als dominierende Schwerewellen die sich in vertikale Richtung ausbreitenden hydrostatischen Wellen. Bodennah sind kleinskalige Wellenanteile vorhanden, d.h. Aufwinde vor dem Berg und Abwinde dahinter.

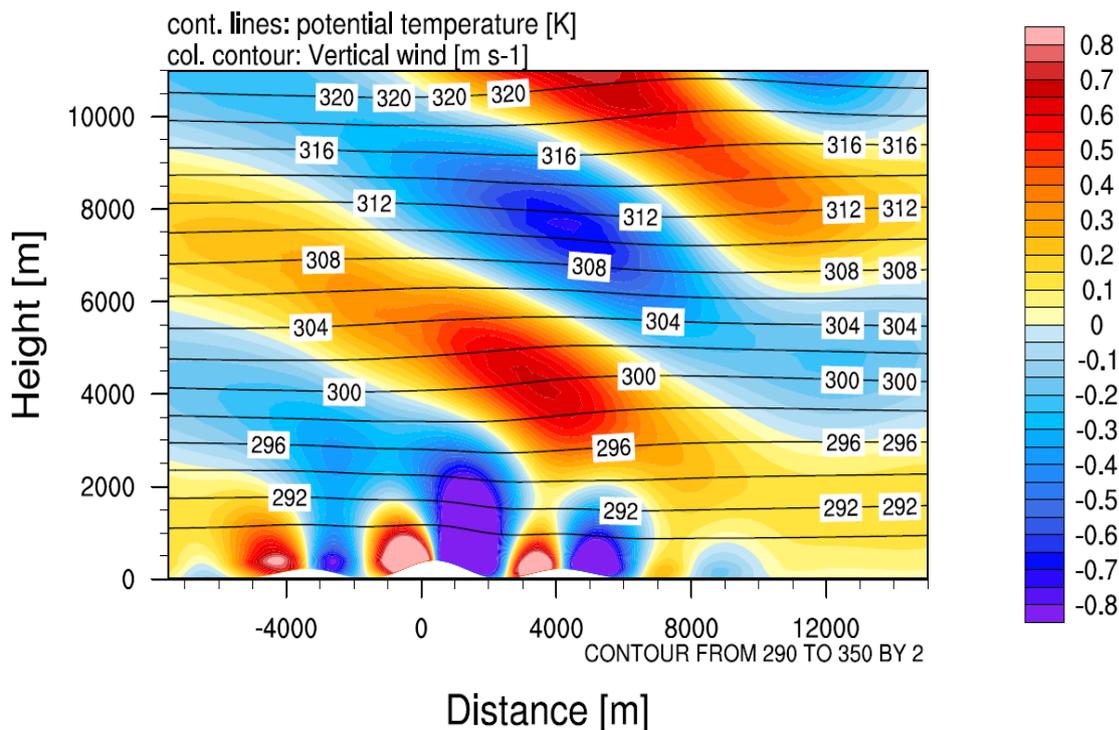


Abbildung 7a: Überströmung eines periodischen Glockenberges bei Verwendung der mitgelieferten Eingangsdaten ($U=10 \text{ m/s}$). Dargestellt ist der Vertikalschnitt der simulierten Vertikalwindkomponente (Isoflächen, in m/s) und der potentiellen Temperatur (Isolinien, in K) nach 4 Stunden Simulationszeit. Der Isolinienabstand beträgt 2 K. Es ist nur ein Ausschnitt des Modellgebietes dargestellt.

Eine andere Schwerewellendynamik ergibt sich, wenn die Anströmgeschwindigkeit von 10 m/s auf 5 m/s verringert wird. In diesem Fall ändert sich das Verhältnis von Brunt-Väisälä Frequenz und

Wellenlänge der kleinskaligen Topographieanteile zu der Anströmgeschwindigkeit. Die Wellen, welche durch die kleinskaligen Topographievariationen induziert werden, können sich bei $U=5$ m/s in vertikaler Richtung ausbreiten. Die Lösung ist dann dominiert von nichthydrostatischen Wellen, die sich nicht nur in vertikaler Richtung sondern auch leewärts ausbreiten (Abbildung 7b).

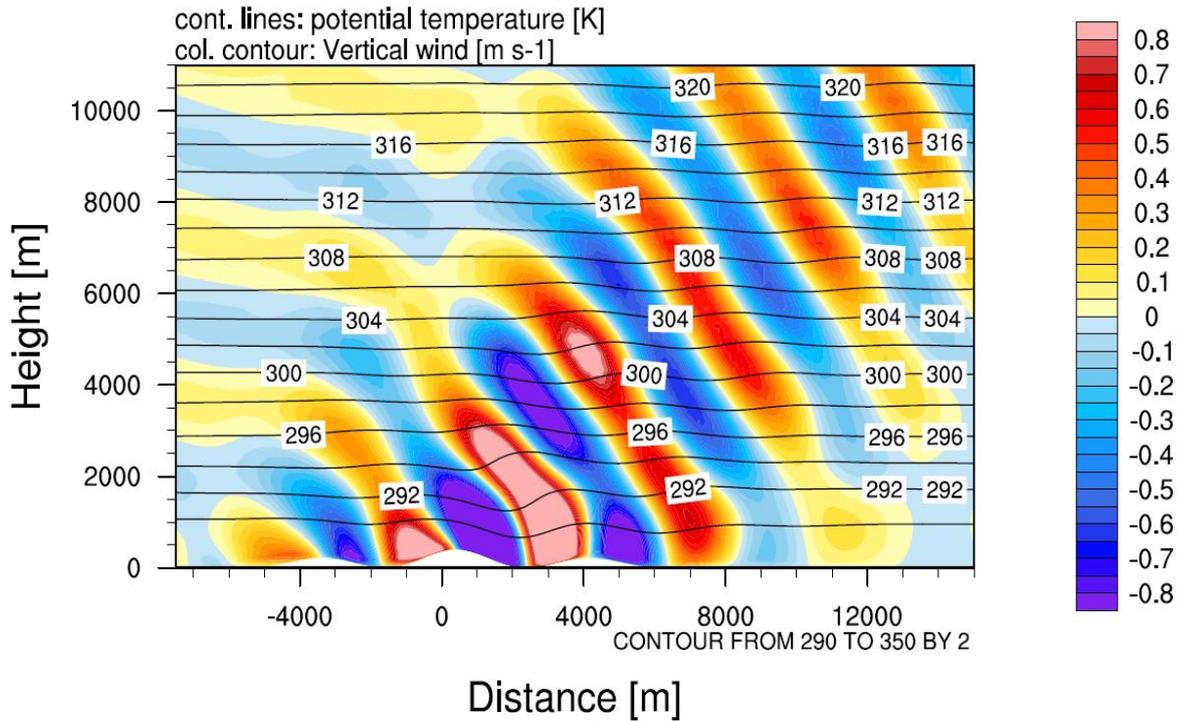


Abbildung 7b: Wie in Abbildung 7a, nur wurden die Eingangsdaten für den Testfall so geändert, dass als Anströmgeschwindigkeit 5 m/s verwendet werden.

Anhang I Kurzreferenz der Namelistvariablen

Die nachfolgende Liste gibt einen Überblick über die in der Steuerdatei `meitras_TAPE5` gültigen Namelistvariablen. Eine ausführliche Erläuterung findet sich in Abschnitt 4.2.1.

Tabelle 5: Kurzerläuterung der Namelistvariablen. Werte können vom Typ Zeichen ("C"), Integer ("I") oder Real ("R") sein. In Spalte W kennzeichnet „N“ die unbedingt zu deklarierende Namelistvariablen, „O“ die optional deklarierbaren Namelistvariablen. Letztere dürfen in der Steuerdatei fehlen. „N ini“ bzw. „O ini“ kennzeichnet die Namelistvariablen, die nur bei einem Kaltstart vorgegeben werden müssen, d.h. das Programm überliest bzw. ignoriert sie beim Restart. Mit „N res“ gekennzeichnete Namelistvariable dürfen nur bei einem Restart deklariert werden.

Namelistvariable	Typ	W	Erläuterung
<code>diurnal_cycle</code>	I	N	Steuert die Bodenrandbedingungen für Temperatur und Feuchte.
<code>casename</code>	C	N	Frei wählbare Kennung der Modellrechnung.
<code>outputdir</code>	C	N	Frei wählbarer Name des Ausgabeverzeichnis.
<code>topo_file</code>	C	N	Bezeichnet den Namen der Topographiedatei und optional den Pfad, in welchem diese Datei liegt.
<code>start_datetime</code>	C	N	Bezeichnet immer das Startdatum und die Startzeit des gesamten Simulationszeitraumes.
<code>output_records</code>	C	O	Kennzeichnet die gewünschten Ausgabegrößen in der formatgebundenen und in der binären Ausgabedatei als kommaseparierte Liste.
<code>timestep_factor</code>	R	O	Steuert die automatische Berechnung der Länge des Zeitschritts.
<code>restart_file</code>	C	N res	Steuert die Startphase der Modellrechnung.
<code>topogrow_time</code>	I	O	Dauer der Diastrophie in Minuten ab dem unter <code>start_datetime</code> angegebenen Zeitpunkt.
<code>end_time</code>	C	N	Ende des Simulationszeitraumes
<code>firstoutput_time</code>	C	N	Zeitpunkt der ersten Ausgabe von Modellergebnissen in die Ausgabedateien.
<code>output_interval</code>	C	N	Ausgabeintervall von Modellergebnissen in die Ausgabedateien.
<code>special_output_time</code>	C	O	Eine Liste von Zeitpunkten, an denen eine zusätzliche Ausgabe von Modellergebnissen in die Ausgabedateien erfolgen soll.
<code>wallclock_limit</code>	I	O	Maximale Rechenzeit in Minuten, die auf dem Rechner verbraucht werden darf.
<code>ntimeseries</code>	I	O	Anzahl der Orte, an denen Zeitserien als formatierte Ausgabe in separate Dateien ausgegeben werden sollen.
<code>timeseries_height</code>	C	O	Höhen der Kontrollpunkte für die Zeitserienausgabe.
<code>timeseries_lat</code>	C	O	Geographische Breiten der Kontrollpunkte für die Zeitserienausgabe.
<code>timeseries_lon</code>	C	O	Geographische Längen der Kontrollpunkte für die Zeitserienausgabe.
<code>ini_lon</code>	R	O ini	Geographische Länge des Ortes des meteorologischen Initialisierungsprofils.

Kurzreferenz der Namelistvariablen

Namelistvariable	Typ	W	Erläuterung
ini_lat	R	O ini	Geographische Breite des Ortes des meteorologischen Initialisierungsprofils.
wind_kanz	I	N ini	Anzahl der Profilpunkte, die den reibungsunbeeinflussten und großskaligen Wind beschreiben.
rh_kanz	I	N ini	Anzahl der Profilpunkte, die die großskalige relative Feuchte beschreiben.
treal_kanz	I	N ini	Anzahl der Profilpunkte, die die großskalige Temperatur beschreiben.
dtpotdz_kanz	I	N ini	Anzahl der Profilpunkte, die den großskaligen Gradienten der potentiellen Temperatur beschreiben.
wind_height	C	N ini	Höhen über Grund der Profilpunkte des reibungsunbeeinflussten, großskaligen Windes.
rh_height	C	N ini	Höhen über Grund der Profilpunkte der großskaligen relativen Feuchte.
treal_height	C	N ini	Höhen über Grund der Profilpunkte der großskaligen Temperatur.
dtpotdz_height	C	N ini	Höhen über Grund der Profilpunkte des großskaligen Gradienten der potentiellen Temperatur.
u_value	C	N ini	Windgeschwindigkeitsprofil der West-Ost Windkomponente des reibungsunbeeinflussten großskaligen Windes.
v_value	C	N ini	Windgeschwindigkeitsprofil der Süd-Nord Windkomponente des reibungsunbeeinflussten großskaligen Windes.
rh_value	C	N ini	Profil der großskaligen relativen Feuchte.
treal_value	C	N ini	Profil der großskaligen Temperatur.
dtpotdz_value	C	N ini	Profil des großskaligen Gradienten der potentiellen Temperatur.
sur_pressure	R	N ini	Nicht reduzierter Bodendruck am Ort des Initialisierungspunktes in der Einheit Pa.
treal_insoil	R	O ini	Mittlere Temperatur (Einheit °C) der Bodenschichten in 10 bis 50 cm Tiefe.
treal_water	R	O ini	Mittlere Temperatur (Einheit °C) aller im Modellgebiet auftauchenden Wasserflächen.
ndrydays	I	O ini	Länge einer möglichen, der Simulation vorangegangenen Trockenperiode, angegeben in Tagen.

Anhang II Liste der Ausgabegrößen

Alle nachfolgend aufgeführten Ausgabegrößen werden, wenn nicht anders festgelegt, ausnahmslos als REAL-Variablen im FORTRAN-Format $10E15.9$ in die formatgebundene Ausgabedatei bzw. als REAL-Variablen mit der Genauigkeit Single-Precision in die binäre Ausgabedatei geschrieben. Die Formatgebundenen Ausgaben verwenden pro Variable ein Write, während die binäre Ausgabe nur ein Write pro Record verwendet. In die Restartdatei (Abschnitt 4.3.3) werden die für einen Restart nötigen Records geschrieben, unabhängig davon, welche Daten der Modellanwender in die binären und formatierten Modellergebnisdateien ausgibt. Dementsprechend bezieht sich die Steuerung über die Namelistvariable `output_records` in der Steuerdatei `meitras_TAPE5` ausschließlich auf die Auswertedateien (Abschnitt 4.3.2 + binäre Modellausgabe).

Die mit `DUMMY` vermerkten Variablen sind nicht für die Auswertung gedacht, sondern intern für den Restart notwendig.

Die angegebenen Dimensionen bedeuten:

- `nx1` Anzahl Gitterpunkte in x-Richtung
- `nx2` Anzahl Gitterpunkte in y-Richtung
- `nx3` Anzahl Gitterpunkte in z-Richtung
- `nsfccl` Anzahl an Oberflächenbedeckungsklassen

Rec.	Variable	Dimension	Erläuterung
<u>A-Ausgabestruktur:</u> Anfangs- und konstante Größen			
1	DUMMY initime	7 x 1 3 x 1	Nicht für Auswertung gedacht Zeitpunkt der Initialisierung: Jahr, Monat, Tag
2	DUMMY	9 x 1	Nicht für Auswertung gedacht
3	DUMMY nsfccl	4 x 1 1	Nicht für Auswertung gedacht Anzahl der Oberflächenbedeckungsklassen
4	DUMMY	4 x 1	Nicht für Auswertung gedacht
5	DUMMY	5 x 1	Nicht für Auswertung gedacht
7	ntsout	1	Anzahl der Zeitserien an den Kontrollpunkten
10	albedo thedif thecon thdeep qvdeep	0:nsfccl-1 0:nsfccl-1 0:nsfccl-1 0:nsfccl-1 0:nsfccl-1	Albedo A (dimensionslos) der Oberflächenbedeckungsklassen 0 bis nsfccl-1 thermische Diffusivität k_s (in m^2s^{-1}) der Oberflächenbedeckungsklassen 0 bis nsfccl-1 thermische Leitfähigkeit ν_s (in $J(Ksm)^{-1}$) der Oberflächenbedeckungsklassen 0 bis nsfccl-1 Skalengröße h_e (in m) für die Eindringtiefe der Bodentemperaturwelle der Oberflächenbedeckungsklassen 0 bis nsfccl-1 Skalengröße h_q (in m) für die Eindringtiefe von Feuchtigkeitsänderungen in den Boden der Oberflächenbedeckungsklassen 0 bis nsfccl-1

Liste der Ausgabegrößen

Rec.	Variable	Dimension	Erläuterung
	yz0cls	0:nsfccl-1	Rauhigkeitslänge z_0 (in m) der Oberflächenbedeckungsklassen 0 bis nsfccl-1
	DUMMY	3 x nsfccl	Nicht für Auswertung gedacht
11	yxmin	1	x-Koordinate (in m) des vektoriellen u-Gitterpunkts i=0
	ydx	0:nx1+1	Gitterweite Δx (in m) am skalaren Gitterpunkt, Abstand zweier vektorieller u-Gitterpunkte
	yta	0:nx1	Gitterweite Δx (in m) am u-Gitterpunkt, Abstand zweier skalarer Gitterpunkte
	xymet	0:nx1	x-Koordinate (in m) der vektoriellen u-Gitterpunkte
	DUMMY	0:nx1+1	Dummyfeld erforderlich für den Restart
	DUMMY	0:nx1+1	Dummyfeld erforderlich für den Restart
	zmmi	ntsout	i-Gitterpunktindex Kontrollpunkte Zeitserie
12	yymin	1	y-Koordinate (in m) des vektoriellen v-Gitterpunkts j=0
	Ydy	0:nx2+1	Gitterweite Δy (in m) am skalaren Gitterpunkt, Abstand zweier vektorieller v-Gitterpunkte
	Ytb	0:nx2	Gitterweite Δy (in m) am u-Gitterpunkt, Abstand zweier skalarer Gitterpunkte
	yvmet	0:nx2	y-Koordinate (in m) der vektoriellen v-Gitterpunkte
	DUMMY	0:nx2+1	Dummyfeld erforderlich für den Restart
	DUMMY	0:nx2+1	Dummyfeld erforderlich für den Restart
	zmmj	ntsout	j-Gitterpunktindex Kontrollpunkte Zeitserie
13	yztop	1	Höhe z_{top} (in m) des Modelloberrandes (vektorieller w-Gitterpunkt bei k=NZ)
	ydz	0:nx3+1	Gitterweite $\Delta \eta$ (in m) am skalaren Gitterpunkt, Abstand zweier vektorieller w-Gitterpunkte
	ytc	0:nx3	Gitterweite $\Delta \eta$ (in m) am w-Gitterpunkt, Abstand zweier skalarer Gitterpunkte
	zvmet	0:nx3, 0:nx2+1, 0:nx1+1	Höhe z (in m) der vektoriellen w-Gitterpunkte
	DUMMY	0:nx3+1	Dummyfeld erforderlich für den Restart
	DUMMY	0:nx3+1	Dummyfeld erforderlich für den Restart
	zmmk	ntsout	k-Gitterpunktindex Kontrollpunkt Zeitserie
14	ytd	0:nx2+1, 0:nx1	Geländesteigung $\partial z_s / \partial x$ [°] an vektoriellen ut-Gitterpunkten
15	yte	0:nx2, 0:nx1+1	Geländesteigung $\partial z_s / \partial y$ [°] an vektoriellen vt-Gitterpunkten

Liste der Ausgabegrößen

Rec.	Variable	Dimension	Erläuterung
16	ytf yeta	0:nx3 0:nx3+1	Transformationskonstante $F = 1 - \eta/z_t$ (dimensionslos) an vektoriellen wt-Gitterpunkten
17	ytg yzsurf yzssvv	0:nx2+1, 0:nx1+1 0:nx2+1, 0:nx1+1 0:nx2, 0:nx1	Transformationskonstante $G = (z_t - z_s)/z_t$ (dimensionslos) an skalaren Gitterpunkten Geländehöhe z_s (in m) an skalaren Gitterpunkten Geländehöhe z_s (in m) an doppelt-vektoriellen Gitterpunkten (Eckpunkte einer skalaren Gitterzelle, fiktiver „ut-vt“-Gitterpunkten)
18	ephi elam edrewi elon elat	1 1 1 0:nx2+1, 0 :nx1+1 0:nx2+1, 0 :nx1+1	Geographische Breite des Bezugspunktes (in rad) Geographische Länge des Bezugspunktes (in rad) Drehwinkel des Modellgebietes Geographische Breite der Gitterpunkte (in rad) Geographische Länge der Gitterpunkte (in rad)
19	DUMMY surfra	0:nx2+1, 0:nx1+1 0:nsccl-1, 0:nx2+1, 0:nx1+1	Dummyfeld erforderlich für den Restart Anteil der Oberflächenbedeckungsklassen 0 bis nsccl-1 an skalaren Gitterpunkten
20		3 x 2	Nicht für Auswertung gedacht, für Restart erforderlich
32		3 x 2	Nicht für Auswertung gedacht, für Restart erforderlich
50		3 x 2	Nicht für Auswertung gedacht, für Restart erforderlich
70		3 x 2	Nicht für Auswertung gedacht, für Restart erforderlich
G-Ausgabestruktur: Großskalige Größen			
100	DUMMY	3 x 1	Nicht für Auswertung gedacht, für Restart erforderlich
101	DUMMY	2 x 1	Nicht für Auswertung gedacht, für Restart erforderlich
200	ug	0:nx3+1, 0:nx2+1, 0:nx1	reibungsfreie West-Ost Windkomponente U_g (in m/s) an vektoriellen u-Gitterpunkten
210	vg	0:nx3+1, 0:nx2, 0:nx1+1	reibungsfreie Süd-Nord Windkomponente V_g (in m/s) an vektoriellen v-Gitterpunkten
220	DUMMY	0:nx3, 0:nx2+1, 0:nx1+1	Nicht für Auswertung gedacht, für Restart erforderlich
300	p0	0:nx3+1, 0:nx2+1, 0:nx1+1	Grundzustand des Drucks p_0 (in Pa) an skalaren Gitterpunkten
400	rho0	0:nx3+1, 0:nx2+1, 0:nx1+1	Grundzustand der Dichte ρ_0 (in kg/m ³) an skalaren Gitterpunkten
500	t0	0:nx3+1, 0:nx2+1, 0:nx1+1	Grundzustand der potentiellen Temperatur θ_0 (in K) an skalaren Gitterpunkten
501	tinsoil	0:nx2+1, 0:nx1+1	tiefe Erdbodentemperatur an skalaren Gitterpunkten

Liste der Ausgabegrößen

Rec.	Variable	Dimension	Erläuterung
502	Twater	0:nx2+1, 0:nx1+1	Temperatur der Wasseroberfläche an skalaren Gitterpunkten
700	qv0	0:nx3+1, 0:nx2+1, 0:nx1+1	Grundzustand der spezifischen Feuchte q_0 (in kg/kg) an skalaren Gitterpunkten
M-Ausgabestruktur: Mesoskalige und zeitabhängige Größen zum Ausgabezeitpunkt			
1000	zeit jn dt dtold Dummy	1 1 1 1 2 x 1	Ausgabezeitpunkt der M-Ausgabestruktur Ausgabezeitschritt der M-Ausgabestruktur aktuelle Zeitschrittlänge Δt (in s) Zeitschrittlänge Δt (in s) des vorherigen Zeitschritts Nicht für Auswertung gedacht
1100	qvcont	0:nxfccl-1, 0:nx2+1, 0:nx1+1	Bodenwassergehalt W_s (dimensionslos) der Oberflächenbedeckungsklassen 0 bis nxfccl-1 an skalaren Gitterpunkten
1900	DUMMY surfra	0:nx2+1, 0:nx1+1 0:nxfccl-1, 0:nx2+1, 0:nx1+1	Dummyfeld erforderlich für den Restart Anteil der Oberflächenbedeckungsklassen 0 bis nxfccl-1 an skalaren Gitterpunkten
2000	ut	0:nx3+1, 0:nx2+1, 0:nx1	West-Ost Windgeschwindigkeit \bar{u} (in m/s) an vektoriellen u-Gitterpunkten
2001	DUMMY	0:nx3+1, 0:nx2+1, 0:nx1	Nicht für Auswertung gedacht, für Restart erforderlich
2100	vt	0:nx3+1, 0:nx2, 0:nx1+1	Süd-Nord Windgeschwindigkeit \bar{v} (in m/s) an vektoriellen v-Gitterpunkten
2101	DUMMY	0:nx3+1, 0:nx2, 0:nx1+1	Nicht für Auswertung gedacht, für Restart erforderlich
2200	wt	0:nx3, 0:nx2+1, 0:nx1+1	Vertikalwindgeschwindigkeit \bar{w} (in m/s) im kartesischen System an vektoriellen w-Gitterpunkten
2201	DUMMY	0:nx3, 0:nx2+1, 0:nx1+1	Nicht für Auswertung gedacht, für Restart erforderlich
2400	womega	0:nx3, 0:nx2+1, 0:nx1+1	Vertikalwindgeschwindigkeit $\bar{\omega}$ (in m/s) im transformierten μ -System an vektoriellen w-Gitterpunkten, für Restart erforderlich
3100	p1	0:nx3+1, 0:nx2+1, 0:nx1+1	Druckbeitrag p_1 (in Pa) zum Gesamtdruck ("thermischer" Druck) an skalaren Gitterpunkten
3200	p2	0:nx3+1, 0:nx2+1, 0:nx1+1	Druckbeitrag p_2 (in Pa) zum Gesamtdruck ("dynamischer" Druck) an skalaren Gitterpunkten
4000	rhom	0:nx3+1, 0:nx2+1, 0:nx1+1	mesoskalige Dichte $\tilde{\rho}$ (in kg/m ³) an skalaren Gitterpunkten
5000	tetat	0:nx3+1, 0:nx2+1, 0:nx1+1	mesoskalige potentielle Temperatur $\tilde{\theta}$ (in K) an skalaren Gitterpunkten
5003	tpsum	0:nx3+1, 0:nx2+1, 0:nx1+1	potentielle Gesamttemperatur $\bar{\theta}$ (in K) an skalaren Gitterpunkten
6000	averu	0:nx3+1, 0:nx2+1, 0:nx1+1	vertikaler Diffusionskoeffizient für Impuls K_{vert} (in m ² /s) an skalaren Gitterpunkten

Liste der Ausgabegrößen

Rec.	Variable	Dimension	Erläuterung
6010	averphi	0:nx3+1, 0:nx2+1, 0:nx1+1	vertikaler Diffusionskoeffizient für skalare Größen $K_{vert,\chi}$ (in m ² /s) an skalaren Gitterpunkten
6020	wdev	0:nx3, 0:nx2+1, 0:nx1+1	Vertikalwindfluktuation $\overline{w'^2}$ (in m ² /s ²) an vektoriellen w-Gitterpunkten
6600	ujstern	0:nxfccl-1, 1:nx2, 1:nx1	die auf die jeweilige Oberflächenbedeckungsklasse bezogene Schubspannungsgeschwindigkeit $u_{j,*}$ (in m/s) an skalaren Gitterpunkten
6601	tjstern	0:nxfccl-1, 1:nx2, 1:nx1	die auf die jeweilige Oberflächenbedeckungsklasse bezogene Skalengröße der Temperatur $\theta_{j,*}$ (in K) an skalaren Gitterpunkten
6602	qvjstern	0:nxfccl-1, 1:nx2, 1:nx1	die auf die jeweilige Oberflächenbedeckungsklasse bezogene Skalengröße der Feuchte $q_{j,*}$ (in kg/kg) an skalaren Gitterpunkten
6700	zinv	1:nx2, 1:nx1	Inversionshöhe z_{inv} (in m) an skalaren Gitterpunkten
6710	wstern	1:nx2, 1:nx1	konvektive Skalengröße w_* (in m/s) an skalaren Gitterpunkten
7000	qvt	0:nx3+1, 0:nx2+1, 0:nx1+1	mesoskalige spezifische Feuchte \tilde{q} (in kg/kg) an skalaren Gitterpunkten
7003	qvsum	0:nx3+1, 0:nx2+1, 0:nx1+1	spezifische Gesamtfeuchte \bar{q} (in kg/kg) an skalaren Gitterpunkten

Anhang III Liste der Fehlermeldungen

Die nachfolgende Liste enthält die im Fall eines kontrollierten Abbruchs³ auf den Bildschirm bzw. in die Protokolldatei ausgegebenen Fehlermeldungen sowie deren Ursache und Hinweise zur Fehlerbehebung. Zusätzlich sollte auch im Fall eines kontrollierten Abbruchs der Modellrechnung grundsätzlich die Protokolldatei `metras-rpt.mnn` auf zusätzliche Hinweise zur Fehlerursache überprüft werden.

Tritt bei einem kontrollierten Abbruch eine andere als die hier aufgeführten Fehlermeldungen auf, sollten die Modellautoren benachrichtigt werden⁴.

Die Liste der Fehlermeldungen ist nach dem ausgegebenen Fehlercode sortiert. Wenn ein Fehlercode zweimal in der Tabelle auftaucht werden in der Initialisierung und der dreidimensionalen Simulation dieselben Fehlercodes mit unterschiedlichen Bedeutungen verwendet.

Falls die Fehlermeldungen nicht weiter helfen, bitte an metras@uni-hamburg.de wenden. In diesem Fall müssen alle Eingabedateien, unter Einchluss von Topographie und Steuerdatei sowie alle Ergebnisdateien bereitgestellt werden, damit eine Fehlersuche erfolgen kann,

Fehlercode	Meldung	Ursache	Fehlerbehebung
100	Input error: End of simulation before start time	Modellanwenderfehler: Die Vorgabe des Laufzeitendes ist in Steuerdatei vor den Zeitpunkt des Modelstarts gesetzt.	Zeitpunkt des Modelllaufzeitendes korrigieren

³ Unter einem "kontrollierten Abbruch" ist solch ein Abbruch der Modellrechnung zu verstehen, bei dem aufgrund einer Fehlererkennung durch das Programm eine STOP-Anweisung mit entsprechender Fehlermeldung ausgeführt wird. Davon zu unterscheiden ist der "unkontrollierte Abbruch", bei dem vom Programm selbst keine Fehlermeldung ausgegeben wird (z.B. "overflow" bei Überschreiten des systemabhängig zulässigen Wertebereichs von Zahlen). Unkontrollierte Abbrüche sind meist Folge unrealistischer Eingabedaten (z.B. durchgehend labile Schichtung).

⁴ E-Mail Adresse: metras@uni-hamburg.de

Liste der Fehlermeldungen

Fehler code	Meldung	Ursache	Fehlerbehebung
100	Unallowed input value:	Einer der eingegebenen Namelistvariablen liegt außerhalb der zulässigen Wertebereiche bzw. das Format passt nicht! Dies passiert auch, wenn eine METRAS-Oberflächenbedeckungsklasse angegeben ist, die nicht existiert, oder wenn das Simulationsende vor der Startzeit liegt.	Korrektur der Werte in der Steuerdatei meitras_TAPE5
101	Internal parameter error:	Das Modell ist intern auf einen Fehler gelaufen, weil eine der Randbedingungen auf einen unzulässigen Wert gesetzt wurde oder interne Routinen Parameter Werte außerhalb des zulässigen Bereichs erhalten.	Modellentwickler informieren (metras@uni-hamburg.de).
103	Inconsistency in Luepkes/Schluzen exchange coefficient. Heat flux should be below zero! To proceed with the model run, heat flux is set to -1e-10! Be aware of model instabilities!!!	Programmwarnung: Der bodennahe Wärmefluss ist trotz instabiler Schichtung positiv geworden und wird für die weitere Modellrechnung auf einen kleinen negativen Wert gesetzt. Modellanwender sollten auf potentielle Instabilitäten achten.	Modellentwickler informieren (metras@uni-hamburg.de).
103	Input error: Too many record numbers	Die Anzahl der maximal ausgebbaren Strukturen wurde überschritten.	Reduzieren sie die Anzahl der Ausgabestrukturen in der Namelistvariable output_records

Liste der Fehlermeldungen

Fehler code	Meldung	Ursache	Fehlerbehebung
105	error: $U^* < 0$!	Die vom Modell diagnostizierte Schubspannungsgeschwindigkeit hat einen physikalisch nicht sinnvollen (negativen) Wert angenommen. Dieses kann verschiedene Ursachen haben, z.B. zu steiles Gelände, 0-Wind bei starker Konvektion oder ähnliche numerische Instabilität auslösende Ursachen.	a) Prüfen, ob das Gelände steiler als ca. 70° ist, dann eine weniger Steilheit aufweisende Topographiedatei verwenden. b) Anhand der Zeitserie der mittleren Werte und der lokalen Zeitserien prüfen, ob starke Zu- oder Abnahmen auftreten; das wäre ein Hinweis auf numerische Instabilität. Dann die Modellentwickler informieren (metras@uni-hamburg.de).
106	Input error: Unallowed parameter value	Eine der Randbedingungen in der Steuerdatei stimmt nicht überein mit denen in der Restartdatei.	Höchstwahrscheinlich wurde die Einstellungen für den Tagesgang innerhalb des Restarts verändert.
106	No convergence	Programminformation: Bei der Initialisierung konnte auf Grundlage der eingegebenen atmosphärischen Profile kein hydrostatisch balancierter Zustand gefunden werden.	Dieser Fall tritt z.B. bei extrem stabiler Schichtung oder bei Läufen mit Austrocknung auf ($ndrydays > 0$). In diesen Fällen kann das Modell mit Umsicht verwendet werden. Auch bei durchgehend instabiler Schichtung kann eine nicht konvergente Lösung entstehen. Dann ist ein anderes Anfangsprofil zu verwenden. Bei Unklarheiten die Modellentwickler informieren (metras@uni-hamburg.de).

Liste der Fehlermeldungen

Fehler code	Meldung	Ursache	Fehlerbehebung
107	Input error: Unallowed combination of parameter values	Modellanwenderfehler: Das Modell ist auf einen Fehler gelaufen, weil die Zeitangaben zueinander nicht konsistent sind.	Prüfen, ob die Formate der Zeitangaben konsistent sind und die Diastrophiezeit sinnvolle positive Werte aufweist.
110	Error while reading initial 1D profiles	Modellanwenderfehler: Beim Lesen der Namelistgruppe METEO ist ein Fehler aufgetreten. Eines der angegebenen Profile weist ein nicht kompatibles Format auf.	Prüfen und Korrektur der eingegebenen meteorologischen Daten.
111	Error while reading grid file	Modellanwenderfehler: Beim Einlesen der Topographiedatei ist ein Fehler aufgetreten.	Prüfung und Korrektur der Topographiedatei, insbesondere das Format des Datenstroms und den Header. Leere Zeilen am Ende löschen.
113	User-defined diastrophy time = 0, but topographic data file contains heights > 0m ! This is only possible in case of a restart, otherwise it will cause a FATAL ERROR!	In der Topographiedatei wurde ein Höhenunterschied von mehr als 0 Metern gefunden. Da die Diastrophiezeit auf 0 Minuten gesetzt wurde, ist mit fatalen Programmabstürzen zu rechnen. Dies ist ein Warnhinweis und kein kontrollierter Programmabbruch.	Bei Verwendung von Topographien mit Höhenunterschieden ist eine Diastrophiezeit von 1 Minute und mehr vorzugeben.
117	Error opening file:	Modellanwenderfehler: Beim Öffnen der Topographiedatei ist ein Fehler aufgetreten.	Prüfe Pfad und Dateiname zur Topographiedatei.

Liste der Fehlermeldungen

Fehler code	Meldung	Ursache	Fehlerbehebung
117	Error opening file:	Modellanwenderfehler: Beim Öffnen des Laufzeitprotokolls ist ein Fehler aufgetreten im Hauptprogramm zur Verwaltung von 1D-Initialisierung und 3D-Simulation.	Prüfe inwieweit Schreibrechte im Laufverzeichnis gesetzt sind
118	non-equal grid size:	Modellanwenderfehler: Das in der Topographiedatei definierte Gitter ist normal zum Rand in Randnähe nicht äquidistant. Die untersten drei sowie die obersten drei Höhenniveaus bzw. randnormalen Gitterpunkte müssen jeweils voneinander denselben Abstand haben.	Korrektur der Topographiedatendatei.
119	Negative specific humidity:	Programminformation: Werte der spezifischen Feuchte sind kleiner Null. Mögliche Ursachen: a) durch orographisch stark gegliedertes Gelände mit nur durch wenige Gitterpunkte aufgelösten Tälern und Bergen können negative Werte entstehen. b) durch numerische Instabilitäten können negative Werte entstehen.	Rechnung entweder mit veränderter Topographiedatei wiederholen oder den Modellentwickler informieren (metras@uni-hamburg.de).
122	Input error: total land-use fraction in GA-file > 100%	Modellanwenderfehler: Die in der Topographiedatei für jede Gitterbox definierten Flächenanteile summieren sich nicht zu 1.	Korrektur der Topographiedatei, so dass die Flächenanteile exakt 100% ergeben.

Liste der Fehlermeldungen

Fehler code	Meldung	Ursache	Fehlerbehebung
125	Error in TAPE5: ntimeseries is out of range! ntimeseries must be between 1 and 20!	Modellanwenderfehler: in der Steuerdatei meitras_TAPE5 sollen weniger oder mehr Zeitserien ausgegeben werden als intern erlaubt (ntimeseries muss zwischen 1 und 20 liegen).	Korrektur der Eingabe in meitras_TAPE5.
133	First profile value not at z=0m	Modellanwenderfehler: Das erste angegebene Höhenniveau bei einem atmosphärischen Profil liegt nicht bei z=0.	Ergänzung der meteorologischen Eingabedaten.
134	Profile not in ascending order	Modellanwenderfehler: Die angegebenen Höhenniveaus des atmosphärischen Profils sind nicht aufsteigend geordnet.	Umsortieren der vorgegebenen Daten.
134	WARNING: nfilter_points set to 5, since 7-point filter might have triggered gravity waves	Programminformation: Das Modell hat anstelle eines 7-Punkt-Filters den 5-Punkt-Filter gewählt um numerische Instabilitäten zu vermeiden.	'-/-
135	Runtime value error:	Programmfehler: Bei der Stundenwinkel- bzw. Zenitberechnung der Sonne ist ein Fehler aufgetreten.	Modellentwickler informieren (metras@uni-hamburg.de)
136	Undefined record number:	Modellanwenderfehler: eine Ausgabestrukturnummer soll ausgegeben werden, die im Programm nicht vorhanden ist.	Löschen der Ausgabestrukturnummer aus der Liste in der Steuerdatei

Liste der Fehlermeldungen

Fehler code	Meldung	Ursache	Fehlerbehebung
137	Time step too short	<p>Programminformation: Der automatisch berechnete Zeitschritt für die numerische Integration ist < 1 millisecc. Ursachen können sein:</p> <p>a) hohe Windgeschwindigkeiten bei sehr feinem Gitter</p> <p>b) numerische Instabilität.</p>	<p>a) Prüfen auf Plausibilität der Eingabedaten und ggf Korrektur.</p> <p>b) Modellentwickler informieren (metras@uni-hamburg.de)</p>
138	Unallowed time step value !	<p>Programminformation: Der automatisch berechnete Zeitschritt für die numerische Integration ist kleiner als 1 millisecc. Ursachen können sein:</p> <p>a) hohe Windgeschwindigkeiten bei sehr feinem Gitter</p> <p>b) numerische Instabilität.</p>	<p>a) Prüfen auf Plausibilität der Eingabedaten und ggf Korrektur.</p> <p>b) Modellentwickler informieren (metras@uni-hamburg.de)</p>
139	Input error: total land-use fraction in GA-file > 100%	<p>Modellanwenderfehler: Die in der Topographiedatei für jede Gitterbox definierten Flächenanteile summieren sich nicht zu 1.</p>	<p>Korrektur der Topographiedatendatei, so dass die Flächenanteile exakt 100% ergeben.</p>
142	Error in block decomposition/parallelization: Number of threads exceeds the number of blocks.	<p>Parallelisierung betreffender Fehler. Eventuell wurden mehr Kerne für die Simulation angegeben als intern wirklich genutzt werden kann. Darüber hinaus könnte das Modellgebiet so wenige Gitterpunkte enthalten, dass eine parallelisierte Rechnung nicht sinnvoll ist.</p>	<p>Weniger Threads verwenden. Bei verbleibendem Problem Modellentwickler informieren (metras@uni-hamburg.de)</p>

Liste der Fehlermeldungen

Fehler code	Meldung	Ursache	Fehlerbehebung
143	Error in TAPE11 (block decomposition/parallelization): BLOCKSIZE is not allowed to be smaller than NX1 or NX2	Parallelisierung betreffender Fehler.	Weniger Threads verwenden. Bei verbleibendem Problem Modellentwickler informieren (metras@uni-hamburg.de)
146	Reading of namelist did not succeed	Modellanwenderfehler: das Lesen der Namelist war nicht erfolgreich oder schon die Überprüfung der Namelist schlug fehl.	Steuerdatei auf Richtigkeit hin überprüfen. Bei Problemen Modellentwickler informieren (metras@uni-hamburg.de)
146	Reading of namelist did not succeed	Modellanwenderfehler: das Lesen der Namelist war nicht erfolgreich oder schon die Überprüfung der Namelist schlug fehl.	Steuerdatei auf Richtigkeit hin überprüfen. Bei Problemen Modellentwickler informieren (metras@uni-hamburg.de)
149	INPUT ERROR: unallowed value of namelist variable.	Modellanwenderfehler: in der Steuerdatei wurde für eine Namelistvariable ein vom Programm nicht vorgesehener Wert verwendet oder für eine Namelistvariable wurde ein falsches Format verwendet. Beispielsweise könnte die Zeitangabe falsch sein.	Korrektur der Werte für die namelist Variable auf erlaubte Werte.
154	Output directory not found !	Modellanwenderfehler: Das in der Steuerdatei angegebenen Ausgabeverzeichnis konnte nicht gefunden werden.	Korrektur des Ausgabeverzeichnisses.

Liste der Fehlermeldungen

Fehler code	Meldung	Ursache	Fehlerbehebung
170	User-defined diastrophy time (=topogrow_time) too small. Considering the topography in the model domain the time was increased.	Warnung: Die spezifizierte Diastrophiezeit "topogrow_time" ist zu kurz im Vergleich zu den in der Topographie-datei vorgegebenen Geländeanstiegen. Die Diastrophiezeit wurde zusammen mit der 3D-Initialisierungszeit automatisch erhöht.	-/-
172	Some required variables are not defined in the namelists (file meitras_TAPE5).	Modellanwenderfehler: In der Steuerdatei sind nicht alle zwingend erforderlichen Namelistvariablen deklariert worden.	Ergänzung der fehlenden Namelistvariablen in Steuerdatei meitras_TAPE5.
173	Errors due to wrong input (message generated from internal compiler)	Modellanwenderfehler: Beim Lesen der Steuerdatei tritt ein Fehler in Zusammenhang mit den Namelists auf. Entweder ist eine Namelistgruppe angegeben, die nicht erlaubt ist. Oder eine angegebene Namelistvariable existiert nicht bzw. der Typ ist nicht kompatibel.	Meldung komplett durchlesen und an entsprechender Stelle in der Steuerdatei Korrekturen vornehmen.
300	Record structure not defined	Beim Einlesen eines Restart-Files ist eine Record-Struktur unbekannt.	Modellentwickler informieren (metras@uni-hamburg.de)
305	Parameters of initialization file and this run are not identical:	Modellanwenderfehler: Die Gittertopologie oder die Drucklöse-einstellungen in den Eingabedaten stimmen nicht mit den im Restart-File gespeicherten Parametern überein.	Überprüfe ob die Gittertopologie immer noch dieselbe ist wie beim vorigen Restart. Ansonsten Modellentwickler informieren (metras@uni-hamburg.de)

Liste der Fehlermeldungen

Fehler code	Meldung	Ursache	Fehlerbehebung
306	Error while reading file:	Beim Einlesen des Topographiedatei ist ein Fehler aufgetreten.	Prüfung und Korrektur der Topographiedatei, insbesondere das Format des Datenstroms und den Header.
308	Error opening file:	Modellanwenderfehler: Beim Öffnen einer der Eingabedateien oder -daten ist ein Fehler aufgetreten. Dies kann auch die Steuerdatei betreffen.	Bitte Dateinamen und Pfad sowie Zugriffsrechte prüfen.
311	Error in METRAS grid definition:	Modellanwenderfehler: Das in der Topographiedatei definierte Gitter ist nicht konsistent mit den Anforderungen, der Bezugspunkt weist keine negativen Koordinaten auf oder die Ränder sind nicht homogen.	Prüfen und verbessern der Topographiedatei.
312	Coarse vertical resolution will cause errors in exchange coefficients'	Modellanwenderfehler: Die vertikale Gitterweite ist bodennah zu groß, so dass die Diffusionskoeffizienten bodennah nicht realitätsnah berechnet werden können.	Vorgabe eines bodennah feineren Vertikalgitters in der Topographiedatei
313	Error while reading basic GA-data	Modellanwenderfehler: Die Struktur der Topographiedatei ist nicht korrekt.	Überprüfe die Struktur des Headers und des Datenstroms
501	Unallowed runtime value of variable:	Programminformation: Werte meteorologischer Variable liegen außerhalb eines vorgegebenen Plausibilitätsbereiches.	Modellentwickler informieren (metras@uni-hamburg.de)

Liste der Fehlermeldungen

Fehler code	Meldung	Ursache	Fehlerbehebung
502	Inconsistency in the Luepkes/Schluenzen exchange coefficient. The heat flux should be below zero! To proceed with the model run, heat flux is set to -1e-10! Be aware of model instabilities!!!	Programmwarnung: Der bodennahe Wärmefluss ist trotz instabiler Schichtung positiv geworden und wird für die weitere Modellrechnung auf einen kleinen negativen Wert gesetzt. Modellanwender sollten auf potentielle Instabilitäten achten.	Modellentwickler informieren (metras@uni-hamburg.de).
504	Interpolation error:	Modellanwenderfehler: Die vorgegebenen großskaligen Werte (Initialisierungsprofil) konnten nicht auf das dreidimensionale Gitter interpoliert bzw. extrapoliert werden. Entweder sind die meteorologischen Eingabedaten nicht vollständig oder nicht in aufsteigender Reihenfolge.	Initialisierungsprofil in Steuerdatei und Topographiedatei auf korrekte Werte hin prüfen und korrigieren

Liste der Fehlermeldungen

Fehler code	Meldung	Ursache	Fehlerbehebung
506	Model quality check: Variable below/above limit!	<p>Programminformation: Werte meteorologischer Variablen liegen unterhalb oder oberhalb programmintern vorgegebener Schwellwerte.</p> <p>a) Meist liegt die Ursache in zu hoch oder zu niedrig vorgegebenen meteorologischen Größen.</p> <p>b) die relative Feuchte hat deutlich 100% überschritten</p> <p>c) durch sehr steiles Gelände und hohen Anströmgeschwindigkeiten werden sehr hohe Vertikalwinde initiiert</p> <p>d) durch numerische Instabilitäten entstehen unrealistische Werte.</p>	<p>a) Korrektur der vorgegebenen meteorologischen Größen.</p> <p>b) Rechnung mit geringeren Luftfeuchtigkeiten, da in dieser Version von METRAS-PCL keine Berechnung von Wolken möglich</p> <p>c) Reduktion der Windgeschwindigkeiten oder Anpassung der Orographie.</p> <p>d) Modellentwickler informieren (metras@uni-hamburg.de).</p>
509	Time step too short	<p>Programminformation: Der automatisch berechnete Zeitschritt für die numerische Integration ist < 1 millisek. Ursachen können sein:</p> <p>a) hohe Windgeschwindigkeiten bei sehr feinem Gitter</p> <p>b) numerische Instabilität.</p>	<p>a) Prüfen auf Plausibilität der Eingabedaten und ggf Korrektur.</p> <p>b) Modellentwickler informieren (metras@uni-hamburg.de)</p>
517	Unexpected model behavior!	<p>Ein unerwartetes Problem ist bei der Wall-clock Zeit aufgetreten. Das Modell wird kontrolliert beendet, aber es wird keine Restart-Datei geschrieben.</p>	<p>Modellentwickler informieren (metras@uni-hamburg.de)</p>

Liste der Fehlermeldungen

Fehler code	Meldung	Ursache	Fehlerbehebung
600	Some required variables are not defined in the namelists (file meitras_TAPE5).	Modellanwenderfehler: In der Steuerdatei sind nicht alle zwingend erforderlichen Namelistvariablen deklariert worden.	Ergänzung der fehlenden Namelistvariablen in der Steuerdatei
601	Errors due to wrong input message generated from internal compiler)	Modellanwenderfehler: Beim Lesen der Steuerdatei tritt ein Fehler in Zusammenhang mit den Namelists auf. Entweder ist eine Namelistgruppe angegeben, die nicht erlaubt ist. Oder eine angegebene Namelistvariable existiert nicht bzw. der Typ ist nicht kompatibel.	Meldung komplett durchlesen und an entsprechender Stelle in der Steuerdatei Korrekturen vornehmen.
602	Main control file meitras_TAPE5 not found.	Modellanwenderfehler: Beim Öffnen der Steuerdatei ist ein Fehler aufgetreten.	Prüfen, ob diese Datei im Laufverzeichnis steht und diesen Namen hat.
800	Internal parameter error. Please inform MI University of Hamburg.	Das Modell ist intern auf einen Fehler gelaufen, weil eine der Randbedingungen auf einen unzulässigen Wert gesetzt wurde oder interne Routinen Parameter Werte außerhalb des zulässigen Bereichs erhalten.	Modellentwickler informieren (metras@uni-hamburg.de).
996	Premature Ending of Model Run. No fatal error detected.	Programminformation: Der Modelllauf konnte nicht beendet werden, weil das Wallclock-Limit erreicht worden ist. Es wird eine Restart-Datei geschrieben.	Mit der geschriebenen Restart-Datei kann ein neuer Lauf gestartet werden.

Liste der Fehlermeldungen

Fehler code	Meldung	Ursache	Fehlerbehebung
998	Initialisation finished. No fatal error detected. NO stationarity achieved !	<p>Programminformation: Die Initialisierung wurde beendet. Es konnten jedoch keine stationären Windprofile für die Initialisierung des 3D-Modells errechnet werden.</p> <p>a) Häufige Ursache ist die Wahl einer durchgehend instabilen Schichtung (Temperatur und Feuchtebeitrag auf die Dichte).</p> <p>b) die Geschwindigkeit ist sehr gering und das Gelände weist geringe Rauigkeit auf (z.B. über Wasser), so dass nur geringe turbulente Durchmischung auftritt. Dann können die ca. 130t Zeitschritte für die Iteration der balancierten Profile zu gering sein.</p>	<p>a) Prüfung ob evtl. mit durchgehend instabiler Schichtung initialisiert wurde und ggf. Anpassung des Temperatur- und Feuchteprofiles.</p> <p>b) Die Iterationszahl sollte ein einigermaßen balanciertes Profil errechnet haben (Prüfung der Form in der A1P-Datei), so dass 3-dimensional weitergerechnet werden kann und keine großen Auswirkungen auf die Lösung zu erwarten sind. Trotzdem sollte hier besonderes Augenmerk auf evtl. auftretende zeitliche Schwingungen in der 3-dimensionalen Modelllösung geachtet werden.</p>
999	3d-Simulation finished. No fatal error detected.	Programminformation: Modellauf ist beendet.	'-/-
999	Initialization finished. No fatal error detected. Stationarity achieved!	Programminformation: Die Initialisierung wurde erfolgreich beendet, stationäre Windprofile wurden für die Initialisierung des 3D-Modells errechnet.	'-/-
default	Unkown error number. Please inform MI Uni Hamburg	Programmfehler: Programminterner Fehler unklarer Ursache.	Modellentwickler informieren (metras@uni-hamburg.de).

Anhang IV METRAS-PCL Oberflächenbedeckungsklassen

In METRAS-PCL werden verschiedene Oberflächenbedeckungsklassen verwendet, die sich in Albedo A_0 , thermischer Diffusivität k_s , thermischer Leitfähigkeit ν_s , Verfügbarkeit von Bodenwasser α_q , Bodenwassersättigung W_k und Rauheitslänge z_0 unterscheiden. Die oberflächennahen Flüsse werden unter Berücksichtigung der prozentualen Anteilen der Oberflächenbedeckungsklassen in jeder Gitterzelle berechnet. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die in METRAS-PCL berücksichtigten Oberflächenbedeckungsklassen und deren Eigenschaften:

Class	Type	A_0 albedo	k_s THEDIF [m ² /s]	ν_s THECON [W/mK]	α_q QVCONT	W_k QVDEEP [m]	z_0 YZOCLS [m]
1000	water	$f(z(t))^5$	1.50E-07	100.00	0.98 ^A	100.0	$f(u^*)^5$
1100	water, fresh, stationary	$f(z(t))^u$	1.50E-07	100.00	1.00	100.0	$f(u^*)^u$
1222	water, fresh, dynamic	$f(z(t))^u$	1.50E-07	100.00	1.00	100.0	$f(u^*)^u$
1300	salt water	$f(z(t))^u$	1.50E-07	100.00	0.98	100.0	$f(u^*)^u$
1411	mudflats	0.10 ⁵	7.40E-07	2.20	0.98	100.0	0.0002
2105	bare ground	0.17	3.80E-07	1.18	0.30	0.015	0.0012
2106	sand	0.20	5.70E-07	1.05	0.10	0.010	0.0003
2107	gravel	0.12	2.76E-07	0.40	0.10	0.010	0.0050
2108	rock	0.10	1.40E-07	2.90	0.05	0.010	0.0012
2122	sand dune, with grass	0.20	5.70E-07	1.05	0.15	0.035	0.0100
2123	sand dune, sparse vegetation	0.20	5.70E-07	1.05	0.15	0.045	0.0500
2220	Asphalt	0.09	2.30E-06	1.35	0.5	0.0015	0.0003
2230	Concrete	0.15	2.30E-06	1.81	0.5	0.0015	0.0003
2240	brick/ pavers	0.30	2.30E-06	0.9	0.02	100.0	0.0006
2250	steel	0.30	4.20E-06	30	0.5	0.0005	0.0003
2712	bushes, wet	0.20	5.20E-07	1.33	0.65	100.0	0.1000
2715	bare ground, wet	0.17	7.40E-07	2.20	0.60	100.0	0.0012
2911	salt pit	0.50	7.40E-07	2.20	0.98	100.0	0.0002
3100	grass, short	0.20	5.20E-07	1.33	0.35	0.050	0.0100
3104	grass, short, wet	0.20	5.20E-07	1.33	0.55	100.0	0.0100
3138	grass, long	0.20	5.20E-07	1.33	0.35	0.070	0.0200
3148	grass, long, wet	0.20	5.20E-07	1.33	0.55	100.0	0.0200
3500	cropland	0.20	5.20E-07	1.33	0.40	0.060	0.0400
3830	cropland, irrigated	0.20	5.20E-07	1.33	0.65	100.0	0.0400
3863	cropland, on sandy soil	0.20	5.20E-07	1.33	0.35	0.040	0.0400

METRAS-PCL Oberflächenbedeckungsklassen

Class	Type	A ₀ albedo	k _s THEDIF [m ² /s]	V _s THECON [W/mK]	α _q QVCONT	W _k QVDEEP [m]	z ₀ YZOCLS [m]
4102	woody savannah	0.20	5.70E-07	1.05	0.5	0.06	0.05
4103	savannah	0.20	5.70E-07	1.05	0.25	0.06	0.02
4210	heath	0.15	5.70E-07	1.05	0.15	0.423	0.0500
4211	heath, on sandy soil	0.15	5.70E-07	1.05	0.15	0.100	0.0500
4314	bushes, dry	0.20	5.20E-07	1.33	0.15	0.060	0.1000
4340	bushes, short	0.20	5.20E-07	1.33	0.35	0.090	0.1000
5100	forest, deciduous	0.17	8.00E-07	2.16	0.60	0.120	1.0000
5200	forest, coniferous	0.10	8.00E-07	2.16	0.60	0.160	1.2000
5213	forest coniferous, wet	0.10	8.00E-07	2.16	0.70	100.000	1.2000
5300	forest, mixed	0.15	8.00E-07	2.16	0.60	0.120	1.0000
5358	forest, mixed, dry	0.15	8.00E-07	2.16	0.50	0.050	1.0000
5656	forest, mixed, wet	0.15	8.00E-07	2.16	0.70	100.000	1.0000
5811	forest and bushes	0.20	6.50E-07	1.75	0.45	0.100	0.2500
6000	urban, sealed	0.18	1.22E-06	3.03	0.5	0.0015	0.9
6005	urban, buildings < 11 m and surrounding sealed surfaces	0.18	1.40E-06	2.61	0.5	0.0015	0.6
6006	urban, buildings > 11 m and surrounding sealed surfaces	0.18	2.30E-06	3.44	0.5	0.0015	1.2
7010	mixed landuse	0.20	5.20E-07	1.33	0.20	0.100	0.1000

Anhang V Ergänzende Hinweise

Informationen zu METRAS-PCL können Sie auch im Internet finden unter <https://www.mi.uni-hamburg.de/metraspcl>

Bitte teilen Sie den Entwicklern von METRAS-PCL mit, wie Ihnen das Modell gefällt, geben Sie Anregungen weiter und informieren Sie die Entwickler auch, wenn Sie auf Probleme stoßen.

Literatur

Eine aktuelle Liste aller Veröffentlichungen zum Modell METRAS ist unter <http://www.mi.uni-hamburg.de/memi> zu finden.

Augustin W., Heuveline V., Meschkat G., Schlünzen K.H. & Schroeder G. (2008): Open MP parallelization of the METRAS meteorology model: Application to the America's Cup. High Performance Computing in Science and Engineering '07, Springer Berlin Heidelberg, 547-559.

Boettcher M., Hoffmann P., Lenhart H.-J., Schlünzen K.H., Schoetter R. (2015) Influence of large offshore wind farms on North German climate. *Meteorol. Z.*, DOI 10.1127/metz/2015/0652

Bohnenstengel S. & Schlünzen K.H. (2009): Performance of different sub-grid-scale surface flux parameterizations for urban and rural areas. In "Meteorological and Air Quality Models for Urban Areas", Baklanov A., S. Grimmond, A. Mahura, M. Athanassiadou (Eds), Springer Publishers, 165p., ISBN 978-3-642-00297-7, doi: 10.1007/978-3-642-00298-4.

Buschbom J., Gimmerthal S., Kirschner P., Michalczyk I.M., Sebbenn A., Schueler S., Schlünzen K.H., Degen B. (2012): Spatial composition of pollen-mediated gene flow in sessile oak. *forstarchiv* 83, 12-18, DOI 10.4432/0300-4112-83-12.

Claussen, M. (1991). Estimation of areally-averaged surface fluxes. *Boundary-Layer Meteorology* 54(4): 387–410.

Deardorff, J.W. (1978). Efficient prediction of ground surface temperature and moisture, with inclusion of a layer of vegetation. *J. geophys. Res* 83(4): 1889–1903.

Dierer, S. & Schlunzen, K.H. (2005). Influence parameters for a polar mesocyclone development. *Meteorologische Zeitschrift* 14(6): 781–792.

Dierer, S., Schlünzen, K.H., Birnbaum, G., Brümmer, B. & Müller, G. (2005). Atmosphere-sea ice interactions during a cyclone passage investigated by using model simulations and measurements. *Monthly Weather Review* 133(12): 3678–3692.

Fischereit, J., Schlünzen, K.H., Gierisch, A., Grawe, D. & Petrik, R. (2016). Influence of tides on the sea breeze in the German Bight: How much model complexity is needed? *Meteorological Magazine*.

Grawe, D., Thompson, H.L., Salmond, J.A., Cai, X.-M. & Schlünzen, K.H. (2013). Modelling the impact of urbanisation on regional climate in the Greater London Area. *International Journal of Climatology* 33(10): 2388–2401.

Hebbinghaus, H., Schlünzen, K.H. & Dierer, S. (2007). Sensitivity studies on vortex development over a polynya. *Theoretical and Applied Climatology* 88(1-2): 1–16.

Klemp, J.B., Skamarock, W.C., Fuhrer, O. (2003). Numerical consistency of metric terms in terrain-following coordinates. *Mon. Wea. Rev.*, 131, 1229 – 1239.

KLIMZUG-NORD Verbund (Hrsg.) (2014): Kursbuch Klimaanpassung. Handlungsoptionen für die Metropolregion Hamburg, TuTech Verlag, Hamburg. <http://klimzug-nord.de/file.php/2014-03-20-KLIMZUG-NORD-Verbund-Hrsg.-2014-Kursbuch-Klimaanpassu>

Lüpkes, C. & Schlünzen, K.H. (1996). Modelling the Arctic convective boundary-layer with different turbulence parameterizations. *Boundary-layer meteorology* 79(1-2): 107–130.

- Lüpkes C., Vihma T., Birnbaum G., Dierer S., Garbrecht T., Gryanik V.M., Gryschka M., Hartmann J., Heinemann G., Kaleschke L., Raasch S., Savijärvi H., Schlünzen K.H., Wacker U. (2012): Mesoscale modelling of the Arctic atmospheric boundary layer and its interaction with sea ice. P. Lemke, H.-W. Jacobi (eds.): Arctic Climate Change: The ACSYS decade and beyond. Atmospheric and Oceanographic Sciences Library, 43, Part 2, Springer Science + Business Media B.V., 279-324, doi: 10.1007/978-94-007-2027-5_7.
- Niemeier U. & Schlünzen K.H. (1993): Modelling steep terrain influences on flow patterns at the Isle of Helgoland. Beitr. Phys. Atmosph., 66, 45 - 62.
- Ries, H., Schlünzen, K.H., Brümmer, B., Claussen, M. & Müller, G. (2010). Impact of surface parameter uncertainties on the development of a trough in the Fram Strait region. Tellus A 62(4): 377–392.
- Schär, C., Leuenberger, D., Fuhrer, O., Lüthi, D., Girard, C. (2002): A new terrain-following vertical coordinate formulation for atmospheric prediction models. Mon. Wea. Rev., 130, 2459 – 2480.
- Schlünzen K.H., Bungert U., Flagg D.D., Fock B.H., Gierisch A., Grawe D., Kirschner P., Lüpkes C., Reinhardt V., Ries H., Schoetter R., Spensberger C., Uphoff M. (2012a): Technical Documentation of the Multiscale Model System M-SYS (METRAS, MITRAS, MECTM, MICTM, MESIM). MEMI Technical Report 3, <https://www1.mi.uni-hamburg.de/en/arbeitsgruppen/memi/modelle/dokumentation/msys-technical-documentation.pdf>
- Schlünzen K.H., Flagg D.D., Fock B.H., Gierisch A., Lüpkes C., Reinhardt V. Spensberger C. (2012b): Scientific Documentation of the Multiscale Model System M-SYS (METRAS, MITRAS, MECTM, MICTM, MESIM). MEMI Technical Report 4, <https://www1.mi.uni-hamburg.de/en/arbeitsgruppen/memi/modelle/dokumentation/msys-scientific-documentation.pdf>
- Schlünzen K.H., Grawe, D., Bohnenstengel, S.I., Schlüter, I., Koppmann, R., (2011): Joint modelling of obstacle induced and mesoscale changes – current limits and challenges. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 99, 217–225, doi:10.1016/j.jweia.2011.019.
- Schlünzen, K.H. & Katzfey, J.J. (2003). Relevance of sub-grid-scale land-use effects for mesoscale models. Tellus A 55(3): 232–246.
- Schlünzen, K.H. & Pahl, S. (1992). Modification of dry deposition in a developing sea-breeze circulation - a numerical case study. Atmospheric Environment. Part A. General Topics 26(1): 51–61.
- Schlünzen, K.H. (1990). Numerical studies on the inland penetration of sea breeze fronts at a coastline with tidally flooded mudflats. Contributions to atmospheric physics 63(3-4): 243–256.
- Schlünzen, K.H. (1997). On the validation of high-resolution atmospheric mesoscale models. Journal of wind engineering and industrial aerodynamics 67: 479–492.
- Schlünzen, K.H., Bigalke, K. & Niemeier, U. (1994). Mesoscale modelling of the atmospheric input into coastal waters. In Air Pollution Modeling and Its Application X. Springer.
- Schlünzen, K.H., Stahlschmidt, T., Rebers, A., Niemeier, U., Kriews, M. & Dannecker, W. (1997). Atmospheric input of lead into the German Bight - a high resolution measurement and model case study. Marine Ecology-Progress Series, Vol. 156 209–299.

- Schoetter, R., Grawe, D., Hoffmann, P., Kirschner, P., Grätz, A. & Schlünzen, K.H. (2013). Impact of local adaptation measures and regional climate change on perceived temperature. *Meteorologische Zeitschrift* 22(2): 117–130.
- Schroeder G. & Schlünzen K.H. (2009): Numerical dispersion of gravity waves. *Monthly Weather Review*, 137, no12, pp. 4344-4354, doi: 10.1175/2009MWR2890.1.
- Schroeder, G., Schlünzen, K.H. & Schimmel, F. (2006). Use of (weighted) essentially non-oscillatory advection schemes in a mesoscale model. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 132(618): 1509–1526.
- Schueler S., Schlünzen K.H. & Scholz F. (2005): Viability and sunlight sensitivity of oak pollen and its implications for pollen-mediated gene flow. *Trees structure and function*, 19, 154-161.
- Schueler, S. & Schlünzen, K.H. (2006). Modeling of oak pollen dispersal on the landscape level with a mesoscale atmospheric model. *Environmental Modeling & Assessment* 11(3): 179–194.
- Sheng L., Schlünzen K.H. & Wu Z. (2000): Three-dimensional numerical simulation of the mesoscale wind structure over Shandong peninsula. *Acta Meteorol. Sinica*, 1, 97 - 107.
- Sodoudi, S., Schäfer, D., Grawe, R., Petrik and K. H. Schlünzen, (2014): High-resolution spatial distribution of temperature over Berlin simulated by the mesoscale model METRAS and comparison with measured data. *General Assembly European Geosciences Union*, Vol. 16, p. 14351.
- Stull, R.B. (2012). *An introduction to boundary layer meteorology* (Vol. 13). Springer Science & Business Media.
- Thunis, P., Galmarini, S., Martilli, A., Clappier, A., Andronopoulos, S., Bartzis, J., ... others. (2003). An inter-comparison exercise of mesoscale flow models applied to an ideal case simulation. *Atmospheric Environment* 37(3): 363–382.
- VDI (2015): Prognostische mesoskalige Windfeldmodelle. Verfahren zur Anwendung in Genehmigungs-verfahren nach TA Luft. VDI 3783, Blatt 16, Beuth-Verlag, Berlin.
- VDI (2016a): Prognostische mesoskalige Windfeldmodelle: Evaluierung für dynamisch und thermisch bedingte Strömungsfelder. VDI 3783 Blatt 7, im Einspruchsverfahren.
- VDI (2016b): Messwertgestützte Turbulenzparametrisierung für Ausbreitungsmodelle. VDI 3783 Blatt 8, im Einspruchsverfahren.
- Von Salzen, K., Claussen, M. & Schlünzen, K.H. (1996). Application of the concept of blending height to the calculation of surface fluxes in a mesoscale model. *Meteorologische Zeitschrift*, NF 5: 60–66.
- Wu Z, & Schlunzen, K. H. (1992). Numerical study on the local wind structures forced by the complex terrain of Qingdao area. *Acta Meteorologica Sinica*, 6(3), 355–366.