

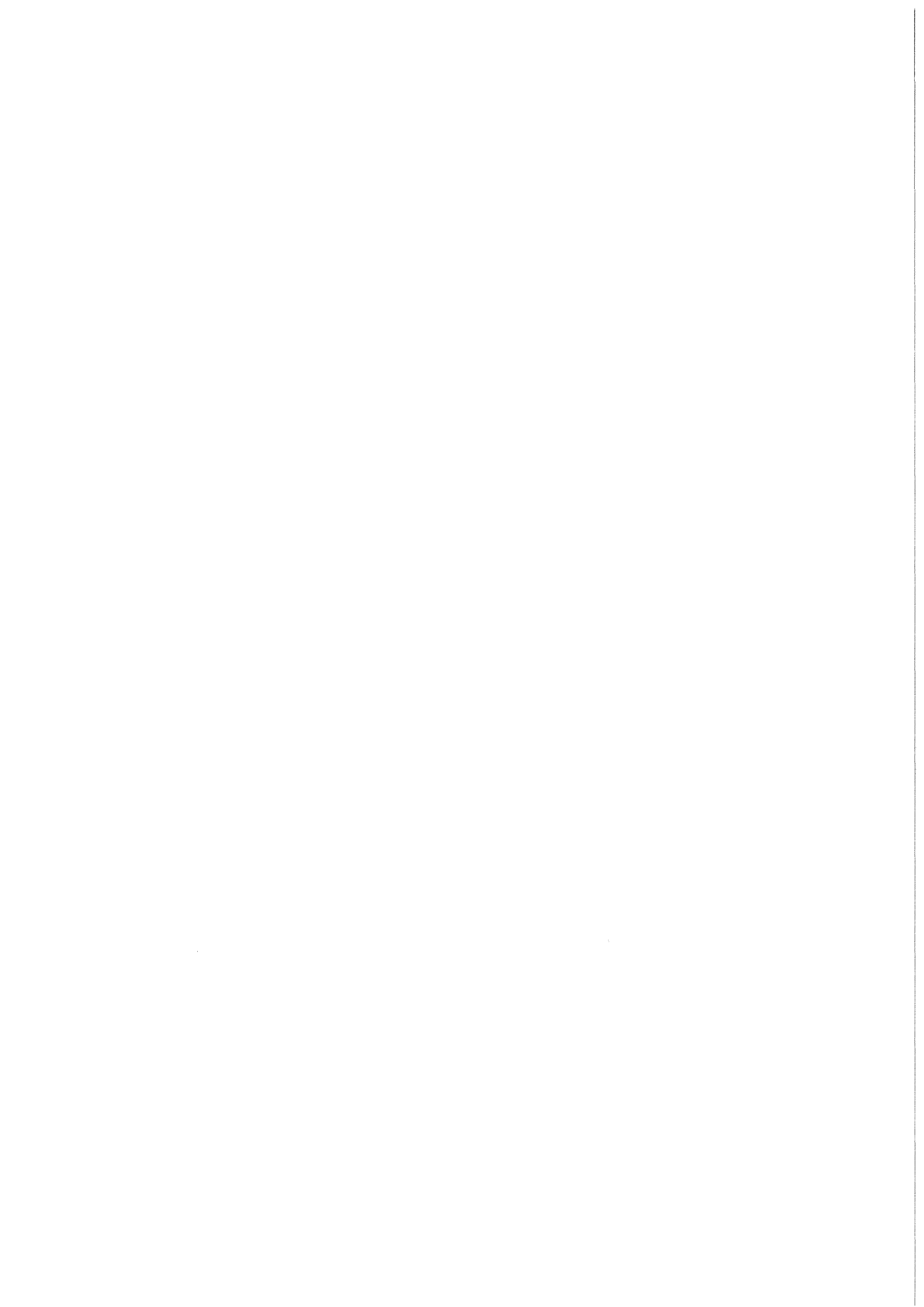


KfK 4143
September 1986

**TRAJ —
ein Fortranprogramm zur
Berechnung von Trajektorien
anhand vorgegebener räumlich
und zeitlich variabler
Geschwindigkeitsfelder**

J. Zimmer
Institut für Meteorologie und Klimaforschung

Kernforschungszentrum Karlsruhe



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Institut für Meteorologie und Klimaforschung

KfK 4143

TRAJ - ein Fortranprogramm zur Berechnung von
Trajektorien anhand vorgegebener räumlich und
zeitlich variabler Geschwindigkeitsfelder

J. Zimmer

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 3640, 7500 Karlsruhe 1

ISSN 0303-4003

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Berechnung von Trajektorien in einem kartesischen Koordinatengitter mit äquidistanten Abständen. Da die Geschwindigkeit eines Teilchens im Ausbreitungsraum experimentell nur schwer zu bestimmen ist, muß die Trajektorie mit Hilfe der Geschwindigkeitsmessungen an festen Orten zu verschiedenen Zeiten numerisch berechnet werden.

Das Modell wurde für meteorologische Zwecke (Schadstofftransport) entwickelt, kann aber für andere Medien und Maßstäbe angewendet werden.

Das Programm ist in FORTRAN 77 geschrieben. Auf der Siemens-7890-Großrechneranlage des Kernforschungszentrums Karlsruhe beträgt der Speicherplatzbedarf für 32000 Gitterpunkte (z. B. 20x20x20 Punkte in x-, y-, z-Richtung und 4 Zeitabschnitte) 1024 K (z.Z. Standardwert). Die CPU-Zeit liegt um 3 sec.

Abstract

TRAJ - a FORTRAN 77 Computer Program for the Calculation of Trajectories on the Basis of space and time varying velocity fields.

The computation of three dimensional trajectories is described in this report. Since measurements of the position and velocity of individual fluid parcels are difficult to be carried out and analytic solutions applicable to the trajectory problem are not available, trajectories have to be calculated by successive observations of the corresponding velocity fields using a method of successive approximation. The application is restricted to cartesian grid coordinate system with equidistant grid points.

II

This model was developed for meteorological purposes (transport of pollutants) but can also be used for other fluids and scales.

The computer program is written in FORTRAN 77. For the calculation of trajectories at $20 \times 20 \times 20 \times 4$ grid points (x-, y-, z-directions and time sequence) the storage needed for the Siemens 7890 computer of the Kernforschungszentrum Karlsruhe is 1024 K (the standard volume at this time). The CPU time is about 3 s.

Inhaltsverzeichnis

Seite

1.	Einleitung	1
2.	Allgemeines - Definitionen	1
3.	Berechnung der Trajektorien	2
4.	Programmbeschreibung	5
4.1	Aufbau und Durchnummerierung des 3-dimensionalen Gitters	5
4.2	Bestimmung des Aufenthaltsortes des Teilchens und Berechnung der zugehörigen Geschwindigkeiten	7
4.3	Trajektorienberechnung	7
4.4	Ein- und Ausgabebeschreibung	7
4.5	Programmablaufplan	8
4.6	Testbeispiel	9
4.7	Beispiel einer speziellen Anwendung	9
4.8	Anhalts-(Erfahrungs-)Werte	10
5.	Abschließende Bemerkung	11
6.	Literatur	11

Anhang

- A. Programmliste eines Testbeispiels
- B. Testergebnisse
- C. Programmliste einer meteorologischen Anwendung
- D. Ergebnisse

1. Einleitung

Die Erforschung der Transportvorgänge in einem instationären Strömungsfeld setzt die Kenntnis der Trajektorien voraus. Da die Geschwindigkeit eines Teilchens im Ausbreitungsraum technisch nur schwer zu bestimmen ist, muß die Bahn mit Hilfe zeitabhängiger Geschwindigkeitsmessungen an festen Orten berechnet werden.

Das vorliegende Modell wurde speziell für meteorologische Bedürfnisse entwickelt (Schadstofftransport), kann aber für andere Medien und Maßstäbe angewendet werden.

Die Trajektorien werden in einem kartesischen Koordinatengitter mit äquidistanten Abständen berechnet.

2. Allgemeines - Definitionen

Für die Beschreibung eines Strömungsfeldes gibt es zwei Betrachtungsweisen, die Eulersche und die Lagrangesche. Die Eulersche ist eine ortsfeste Momentaufnahme der Strömung zur Zeit t . Die Kurven, die zu jedem festen Zeitpunkt auf das Geschwindigkeitsfeld passen, nennen sich Stromlinien. Bei der Lagrangeschen Methode wird das Teilchen bei seiner Bewegung im Raum verfolgt. Seine Bahnen heißen Trajektorien. In einer stationären Strömung sind Stromlinien und Trajektorien identisch.

Während die Konstruktion eines Strömungsfeldes aus Messungen der Geschwindigkeit und Richtung zur Zeit t keine Schwierigkeiten bereitet, ist die Berechnung der Trajektorien zunächst nicht möglich, da die Geschwindigkeit des Teilchens $V_{TR}(x,y,z,t)$ nicht bekannt ist. Man muß deshalb ein numerisches Verfahren anwenden, um die Teilchenbahnen zu berechnen.

3. Berechnung der Trajektorien

Gegeben sind zeitliche Geschwindigkeitsfelder $u(x, y, z, t_0 \dots t_n)$, $v(x, y, z, t_0 \dots t_n)$, $w(x, y, z, t_0 \dots t_n)$. Für die Bahn eines Partikels gilt:

$$\frac{dx}{dt} = u_{Tr}, \quad \frac{dy}{dt} = v_{Tr}, \quad \frac{dz}{dt} = w_{Tr}$$

Integriert man von t_0 bis t , so ergibt sich die Bahn bis zur Zeit t zu:

$$(1) \quad x_{Tr}(t) = x_{Tr}(t_0) + \int_{t_0}^t u_{Tr} dt'$$

$$(2) \quad y_{Tr}(t) = y_{Tr}(t_0) + \int_{t_0}^t v_{Tr} dt'$$

$$(3) \quad z_{Tr}(t) = z_{Tr}(t_0) + \int_{t_0}^t w_{Tr} dt'$$

Da aber nur $u(x, y, z, t)$, $v(x, y, z, t)$ $w(x, y, z, t)$ bekannt sind, ist es nicht möglich, Trajektorien analytisch zu berechnen. Vielmehr muß man sie mit Hilfe der schrittweisen Integration bestimmen. Eines von diesen numerischen Verfahren ist ein Mehrschnittverfahren nach Pettersen /PE 56/.

Bewegt sich das Teilchen vom Startpunkt P_0 mit der Geschwindigkeit $v_0(P_0)$, wird es sich in der ersten Näherung (beschleunigungsfrei) nach der Zeit Δt im Punkte P_1' befinden. Um eine bessere Approximation zu erhalten, nimmt man nun die Geschwindigkeit im Punkte P_1' zur Zeit $t + \Delta t$.

Mit dieser Geschwindigkeit gelangt das Partikel in der Zeit Δt vom Startpunkt P_0 nach P_1'' . Mittelung der beiden Wegevektoren ergibt den neuen Aufenthaltsort P_1''' . Wiederholung dieser Prozedur zeigt, daß die Punkte $P_1' \dots P_1'''' \dots P_1^n$ gegen einen Punkt P_1 konvergieren.

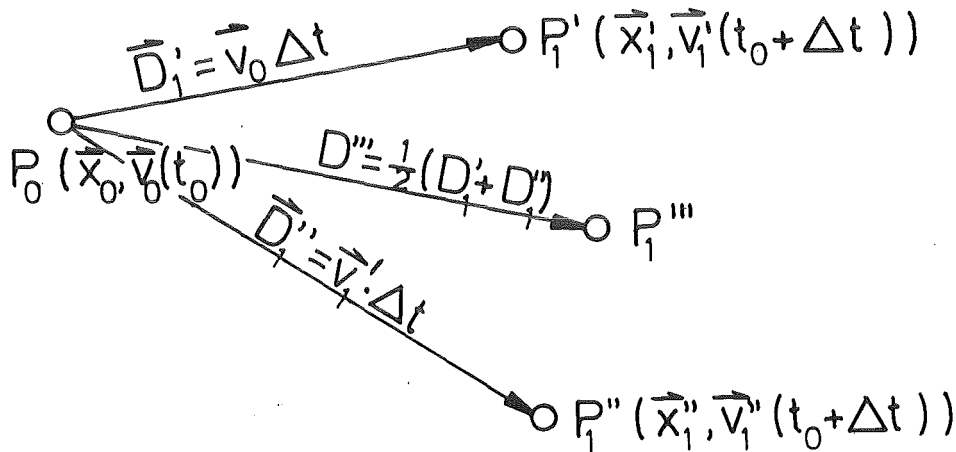


Abb. 1: Konstruktion einer Trajektorie

Nun wird dieser Punkt als Startpunkt betrachtet und der nächste Aufenthaltsort ermittelt, usw. Abb. 2 zeigt eine mit dieser Methode erhaltene Trajektorie.

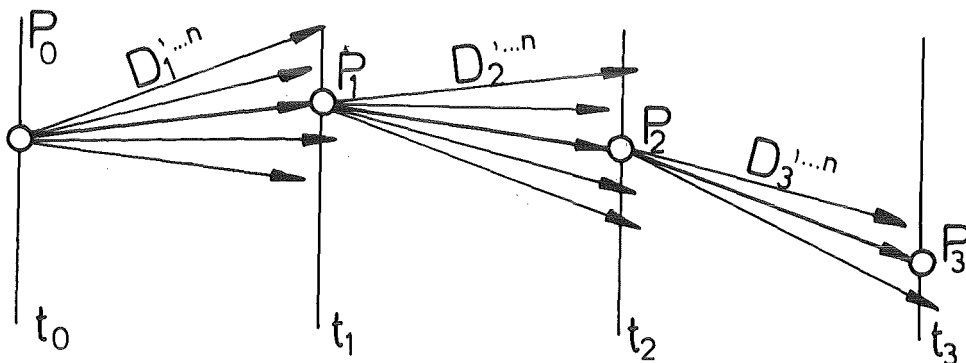


Abb. 2: Durch schrittweise Integration berechnete Trajektorie

Die Rechenvorschrift für die Iteration lautet:

$$(4) \quad \Delta x_i = (u(x_0, t) + u(x_0 + \Delta x_{i-1}, t + \Delta t)) \frac{\Delta t}{2}$$

$$(5) \quad \Delta y_i = (v(y_0, t) + v(y_0 + \Delta y_{i-1}, t + \Delta t)) \frac{\Delta t}{2}$$

$$(6) \quad \Delta z_i = (w(z_0, t) + w(z_0 + \Delta z_{i-1}, t + \Delta t)) \frac{\Delta t}{2}$$

Die Iteration wird beendet, wenn

$$(7) \quad (\Delta x_i - \Delta x_{i-1})^2 + (\Delta y_i - \Delta y_{i-1})^2 + (\Delta z_i - \Delta z_{i-1})^2 < \varepsilon \quad \varepsilon > 0 \in \mathbb{R}$$

Für die Aufenthaltsorte des Partikels gilt

$$(8) \quad x_{n+1} = x_n + \Delta x_i$$

$$(9) \quad y_{n+1} = y_n + \Delta y_i$$

$$(10) \quad z_{n+1} = z_n + \Delta z_i$$

Die notwendigen Geschwindigkeiten an den Aufenthaltspunkten der Teilchen werden mit Hilfe einer 4-dimensionalen Interpolation (x-, y-, z-Richtung, t-Zeit) ermittelt.

4. Programmbeschreibung

Das Unterprogramm TRAJ berechnet die geometrischen Orte sowie die zugehörigen Geschwindigkeiten zu vorgegebenen Zeiten im kartesischen Koordinatensystem mit äquidistanten Stützpunkten. Die minimale Ausdehnung des Gitters ist $4 \times 4 \times 4 \times 2$ Punkte. Für Nebenrechnungen werden von TRAJ zusätzlich 6 Hilfsunterprogramme aufgerufen.

Das Programm setzt sich im wesentlichen aus 3 Teilen zusammen:

1. Aufbau und Durchnummerierung des 3-dimensionalen Gitters.
2. Bestimmung des Aufenthaltsortes des Teilchens und Berechnung der zugehörigen Geschwindigkeit.
3. Berechnung der Bahn des Teilchens mit vorgegebener Genauigkeit (Iteration).

4.1 Aufbau und Durchnummerierung des 3-D-Gitters

Aufbau und Numerierung des Gitters wird im Unterprogramm SORGIT ausgeführt. Das Gitter erstreckt sich über M, N, L, LT Punkte mit den Inkrementen DX, DY, DZ, DT in $x-, y-, z-$ und Zeitrichtung.

Die Gitterpunkte sind in einem 2-dimensionalen Feld $X(i,j)$ abgelegt. Der erste Index bedeutet die laufende Nummer im Gitter, der zweite die Koordinate. Durch die Numerierung wird die zeitliche Reihenfolge der Felder festgelegt.

Abb. 3 zeigt die Reihenfolge der Numerierung eines Gitters mit $3 \times 3 \times 2 \times 2$ Punkten.

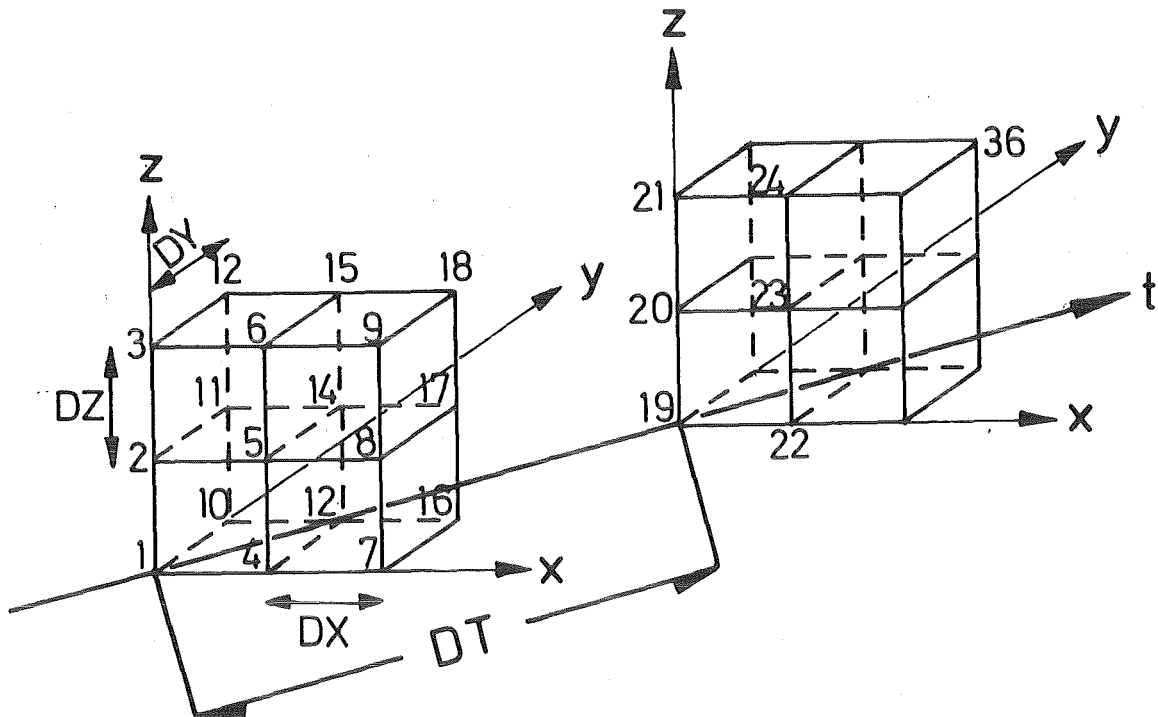


Abb. 3: Reihenfolge der Numerierung der Gitterpunkte

Z. B. Punkt Nr. 14 hat bei $DX=DY=DZ=100$ m die Koordinaten:

$$x(14,1) = 100 \text{ m}, \quad x(14,2) = 100 \text{ m}, \quad x(14,3) = 100 \text{ m}.$$

Die zugehörigen Geschwindigkeitskomponenten u, v, w an diesen Punkten müssen in der gleichen Numerierung vom Hauptprogramm übergeben werden. Z. B. bedeutet $V(10,1)$ die u -Komponente im Gitterpunkt Nr. 10.

4.2 Bestimmung des Aufenthaltsortes des Teilchens und Berechnung der zugehörigen Geschwindigkeitskomponenten

Mit dem Unterprogramm VORITP wird die Lage des Teilchens im Gitter bestimmt. Das Unterprogramm INTPO berechnet die Nummern der benachbarten Gitterpunkte so, daß sich die Partikel in einem Würfel von 4x4x4 Punkten befinden. Nun werden mit Hilfe der Lagrangeschen Interpolation die Geschwindigkeiten des Partikels zu vorgegebenen Zeiten berechnet. Die räumliche Interpolation wird mit dem Unterprogramm LAGR, die zeitliche Interpolation mit dem Unterprogramm LAGRA, berechnet.

4.3 Trajektorienberechnung

Mit dem in Abschnitt 3 beschriebenen Algorithmus werden die Trajektorien stückweise berechnet. Die Genauigkeit der Rechnung hängt von der Vorgabe der Konvergenzschranke EPS ab. Ein Richtwert: 0.01-0.001

4.4 Ein- und Ausgabebeschreibung

Die Eingabewerte werden vom Hauptprogramm teils als Parameter, teils formatfrei (list-directed) übergeben. Ausgegeben werden die geometrischen Orte einer Trajektorie zur Zeit t und deren Geschwindigkeitskomponenten. Die Bedeutung der einzelnen Variablen ist in der Programmliste beschrieben.

4.5 Programmablaufplan

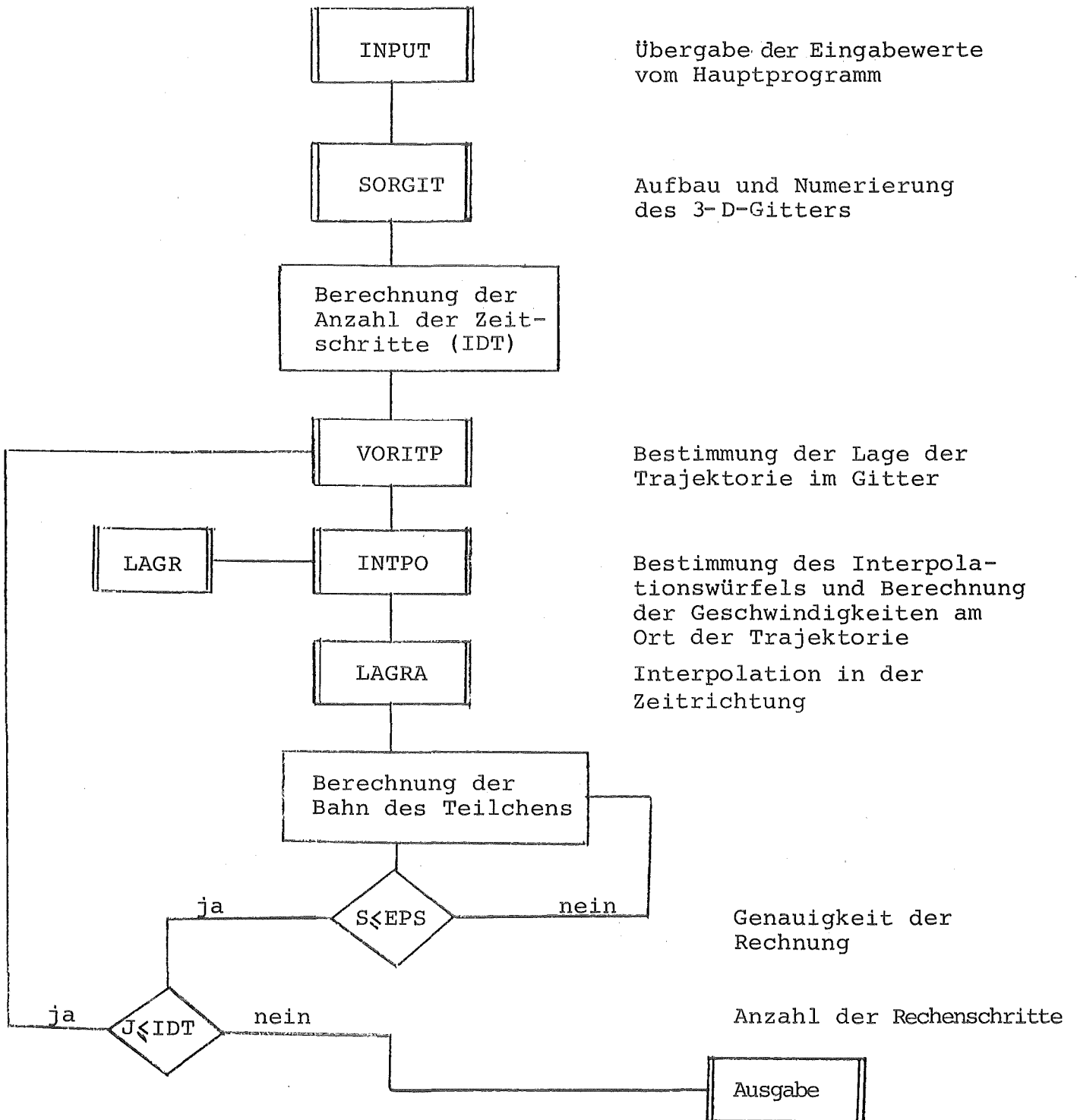


Abb. 4 : Programmablaufplan von TRAJ

4.6 Testbeispiel

Im Anhang A ist das Programm aufgelistet. Es berechnet 2 Trajektorien zwischen zwei Windfeldern an einem Gitter von 4x4x4 Punkten. Die Ergebnisse sind im Anhang B aufgelistet.

4.7 Beispiel einer speziellen Anwendung

Dieses Programm wurde für meteorologische Zwecke entwickelt. Bei bekannten Windfeldern zu festen Zeiten sollen die Trajektorien z. B. für ein Schadstoffpartikel berechnet werden. Den unteren Rand des Gitters bildet die Erdoberfläche, die nicht eben ist. Dadurch sind die Abstände zwischen den Punkten in der Vertikalrichtung nicht äquivalent. Mit Hilfe einer Transformation in ein an die Orographie angepaßtes Koordinatensystem werden sie äquidistant gemacht. Anstelle der Vertikalkoordinate z definiert man eine neue Vertikalkoordinate:

$$(11) \quad \eta = \frac{z - h(x,y)}{H - h(x,y)} \cdot H$$

$h(x,y)$ - Höhe der Orographie über dem Referenzniveau
H..... - Höhe der oberen Berandung

Die Geschwindigkeiten müssen auch auf die η -Fläche transformiert werden.

$$(12) \quad u_{\eta} = u_z$$

$$(13) \quad v_{\eta} = v_z$$

$$(14) \quad w_{\eta} = w_z - \left(1 - \frac{\eta}{H}\right) \left(u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y}\right)$$

wobei für $\frac{\partial h}{\partial x}$, $\frac{\partial h}{\partial y}$ gilt:

$$(15) \quad \frac{\partial h}{\partial x} \approx \frac{h_{i,j+1} - h_{i,j-1}}{2\Delta y}$$

$$(16) \quad \frac{\partial h}{\partial y} \approx \frac{h_{i+1,j} - h_{i-1,j}}{2\Delta x}$$

Im Anhang C ist das Hauptprogramm aufgelistet. Die Trajektorie wird zwischen zwei dreidimensionalen Windfeldern mit einer Ausdehnung von $30 \times 30 \times 30$ Gitterpunkten berechnet. Die z-Koordinate ist in die η -Koordinate transformiert. Die Geschwindigkeit und die $h(i,j)$ -Höhen an einzelnen Gitterpunkten werden eingelesen.

Da die Starthöhe der Trajektorie im z-System gegeben ist, muß sie in das η -System transformiert und durch Interpolation ermittelt werden. Das Unterprogramm SORT2N ordnet den x, y-Koordinaten die Orographie-Höhen zu und nummeriert sie auf gleiche Weise wie das Unterprogramm SORGIT. Die in der SYS2.FORTLIB Programmbibliothek implementierten Unterprogramme für mehrdimensionale Interpolation VORINT und MEDINT von W. Fischer berechnen dann die Starthöhe im η -System. Die Rücktransformation erfolgt durch Auflösung der Formeln (11), (14) nach z, bzw. w_z .

4.8 Anhalts-(Erfahrungs-)werte

Ein Speicherplatz von 1024 K (Standardwert auf der Siemens 7890) kann 32000 Gitterpunkte aufnehmen. Dies entspricht einem Gitter von $20 \times 20 \times 20 \times 4$ Punkten in in x-, y-, z-Richtung und 4 Zeitabschnitten.

Die CPU-Zeit beträgt für ca. 300 Trajektorienabschnitte ca. 3 sec. Das Verfahren konvergiert gewöhnlich nach 3-20 Iterationen. Mit einem 4000-K-Speicherplatzbedarf können Trajektorien in einem Gitter von 162000 Punkten berechnet werden.

5. Abschließende Bemerkung

Die im vorliegenden Programm gemachte Einschränkung über das äquidistante Gitter dient nur der bequemen Eingabe der Daten. Da die Lagrangesche Interpolation keinerlei Äquidistanz von Stützwerten verlangt, ist es ohne weiteres möglich, dieses Programm für nicht äquidistantes Gitter zu modifizieren. Die Inkremente müssen in einer Schleife eingelesen werden und das Unterprogramm VORITP, in dem die Lage der Partikel im Gitter bestimmt wird, entsprechend geändert werden.

6. Literatur

/PE 56/ S. Petterssen
Weather Analysis and Forecasting
Mc Graw-Hill, New-York 1956

ANHANG A : Programmliste eines Testbeispiels

```
//IMK910TR JOB (0910,251,PGA70),ZIMMER,NOTIFY=IMK910,MSGCLASS=H
// EXEC F7CG,PARM.C='LANGLVL(77)',
// PARM.G='SIZE=1000K',COMP=7NEU
//C.SYSPRINT DD SYSOUT=*
//C.SYSIN DD *
*****
* TEST PROGRAMM FUER 3-D TRAJEKTORIE
C
  PARAMETER (M= 4,N= 4,L= 4,LT=2,IT=M*N*L*LT,NT=2,DELX=100.,
+          DELY=100.,DELZ=100.,DELT=100.,EPS=0.0010,IMAX=500,
+          NZ=100)
  DIMENSION TS(6,NT),V(IT,3),X(IT,3),ZT(0:NZ),XT(0:NZ,3),
+          VT(0:NZ,3)
C
  EINGABE:
C
  M.....ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN DER X-RICHTUNG
  N.....ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN DER Y-RICHTUNG
  L.....ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN DER Z-RICHTUNG
  LT.....ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN DER ZEIT-RICHTUNG
  IT=M*N*L*LT
C
  DELX.....INKREMENT IN DER X-RICHT. (M)
  DELY.....INKREMENT IN DER Y-RICHT. (M)
  DELZ.....INKREMENT IN DER Z-RICHT. (M)
  DELT.....INKREMENT IN DER ZEIT-RICHT (S)
C
  NT.....ANZAHL DER TRAJEKTORIEN
  TS(NT,1).....STARTKOORD. DER TRAJEKTORIE IM GITTER (M) X-RICHT
  TS(NT,2).....STARTKOORD. DER TRAJEKTORIE IM GITTER (M) Y-RICHT
  TS(NT,3).....STARTKOORD. DER TRAJEKTORIE IM GITTER (M) Z-RICHT
  TS(NT,4).....STARTZEIT IM HINBLICK AUF DAS ERSTE FELD (S)
  TS(NT,5).....VERFOLGUNGSDAUER (S)
  TS(NT,6).....RECHENZEITSCHRITT (S)
  NZ.....VERFOLGUNGSDAUER/RECHENZEITSCHRITT
C
  V(M*N*L*LT,3).ZUGEHORIGEN FUNKTIONSWERTE AN
C                      DEN GITTERPUNKTEN (U,V,W)
C                      SIE MUESSEN DURCHNUMERIERT WERDEN VON
C                      1 BIS M*N*L*LT IN DER REIHEN
C                      FOLGE Z-,X-,Y-RICHTUNG
C
  EPS.....GENAUIGKET DER ITERATION (Z.B. 0.0001 M)
  IMAX.....MAXIMALE ANZAHL DER ITERATIONEN Z.B. 50
C
  UEBRIGE VARIABLEN:
C
  X(M*N*...,1)...NUMERIERTE X-KOORDINATE IM GITTER
  X(M*N*...,2)...NUMERIERTE Y-KOORDINATE IM GITTER
  X(M*N*...,3)...NUMERIERTE Z-KOORDINATE IM GITTER
C
  AUSGABE:
C
  XT(0:NZ,1-3)...(M) KOORDINATEN DER TRAJEKTORIE
  ZT(0:NZ).....(S) ZEITKOORDINATEN DER TRAJEKTORIE
  VT(0:NZ,3)....M/S TRAJEKTORIENGESCHWINDIGKEIT
C
```

```
C      EINLESEN DER TRAJEKTORIEN
C
      DO 100 I=1,NT
        READ (5,*) (TS(J,I),J=1,6)
100    CONTINUE
C
C      GENERIERUNG UND NUMERIERUNG DER GESCHWINDIGKEITEN
C
      IM = 0
      U = 1.
      VV = 1.
      W = 0.1
      DO 130 K=1,LT
        DO 120 I=1,N
          DO 110 J=1,M*L
            IM = IM+1
            V(IM,1) = U
            V(IM,2) = VV
            V(IM,3) = W
110    CONTINUE
            U = U+1.
            VV = VV+0.5
            W = W+0.1
120    CONTINUE
            U = U-1
            VV = VV-0.5
            W = W-0.1
130    CONTINUE
C
C
C      AUFRUF DES TRAJEKTORIENPROGRAMMES
C
      DO 140 K=1,NT
        CALL TRAJ (M,N,L,LT,DELX,DELY,DELZ,DELT,NT,TS(1,K),V,EPS,IMAX,
+              IT,X,K,ZT,XT,VT,NP,NZ)
140    CONTINUE

      WRITE (6,1000)
1000  FORMAT (1H1//5X,'| NR | X (M) | Y (M) | Z (M) |U(M/S)|V(M/S)|'
+          ',W(M/S)|'/5X,54('-'))
      DO 150 I=1,IM
        WRITE (6,2000) I,(X(I,J),J=1,3),(V(I,J),J=1,3)
2000  FORMAT (5X,'|',I4,'|',3(F8.1,'|'),2(F6.2,'|'),F6.3,'|')
150    CONTINUE
C
      STOP
      E N D
C
//G.FT08F001 DD DISP=SHR,DSN=IMK910.TRAJEKT.DATA(TEST)
//G.SYSIN DD *
100., 0.,100., 10., 100., 10.
0., 0., 0., 0., 100., 10.
//
```

C
SUBROUTINE TRAJ (M,N,L,LT,DELX,DELY,DELZ,DELT,NT,TS,V,EPS,IMAX,
+ IT,X,K,ZT,XT,VT,NP,NZ)
C
C EINGABE:
C
C M.....ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN DER X-RICHTUNG
C N.....ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN DER Y-RICHTUNG
C L.....ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN DER Z-RICHTUNG
C LT.....ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN DER ZEIT-RICHTUNG
C IT=M*N*L*LT
C
C DELX.....INKREMENT IN DER X-RICHT. (M)
C DELY.....INKREMENT IN DER Y-RICHT. (M)
C DELZ.....INKREMENT IN DER Z-RICHT. (M)
C DELT.....INKREMENT IN DER ZEIT-RICHT (S)
C
C NT.....ANZAHL DER TRAJEKTORIEN
C TS(1).....STARTKOORD. DER TRAJEKTORIE IM GITTER (M) X-RICHT
C TS(2).....STARTKOORD. DER TRAJEKTORIE IM GITTER (M) Y-RICHT
C TS(3).....STARTKOORD. DER TRAJEKTORIE IM GITTER (M) Z-RICHT
C TS(4).....STARTZEIT IM HINBLICK AUF DAS ERSTE FELD (S)
C TS(5).....VERFOLGUNGSDAUER (S)
C TS(6).....RECHENZEITSCHRITT (S)
C NZ.....VERFOLGUNGSDAUER/RECHENZEITSCHRITT
C
C V(M*N*L*LT,3).ZUGEHORIGEN FUNKTIONSWERTE AN
C DEN GITTERPUNKTEN (U,V,W)
C SIE MUESSEN DURCHNUMERIERT WERDEN VON
C 1 BIS M*N*L*LT IN DER REIHEN
C FOLGE Z-,X-,Y-RICHTUNG
C
C EPS.....GENAUIGKET DER ITERATION (Z.B. 0.0001 M)
C IMAX.....MAXIMALE ANZAHL DER ITERATIONEN Z.B. 50
C
C UEBRIGE VARIABLEN:
C
C X(M*N*...,1)...NUMERIERTE X-KOORDINATE IM GITTER
C X(M*N*...,2)...NUMERIERTE Y-KOORDINATE IM GITTER
C X(M*N*...,3)...NUMERIERTE Z-KOORDINATE IM GITTER
C
C IDT.....ANZAHL DER ZEITSCHRITTE
C VJ(LT,3).....HILFSVARIABLE
C VTR(3).....HILFSVARIABLE
C DTX(0:1000,3)...VORLAEUFIGE KOORDINATEN WAEHREND DER ITERATION
C
C AUSGABE:
C
C XT(0:NZ,1-3)....(M) KOORDINATEN DER TRAJEKTORIE
C ZT(0:NZ).....(S) ZEITKOORDINATEN DER TRAJEKTORIE
C VT(0:NZ,3).....M/S TRAJEKTORIENGESCHWINDIGKEIT
C
C
C DIMENSION TS(6),V(IT,3),TG(100),X(IT,3),ARG(3),XT(0:NZ,3),
+ VJ(100,3),VTR(3),VT(0:NZ,3),ZT(0:NZ),DTX(0:1000,3),
+ XMAX(4),MIN(3),WTRA(0:1000),ML(4),DEL(4)
C

```
IF (K.GT.1) GOTO 110
WRITE (6,1000) M,N,L,LT,DELX,DELY,DELZ,DELT,NT
1000 FORMAT (1H1////5X,'P A R A M E T E R   D E S   G I T T E R S'/5X,
+         40('-')/5X,'ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN X-RICHT    M :',
+         I3/5X,'ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN Y-RICHT.    N :',I3/5X,
+         'ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN Z-RICHT.    L :',I3/5X,
+         'ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN ZEITRICHT.    LT:',I3/5X,
+         'INKREMENT IN X-RICHT.    DELX :',F7.0,
+         ' M'/5X,'INKREMENT IN Y-RICHT.    DELY :',
+         F7.0,' M'/5X,'INKREMENT IN Z-RICHT.    DELZ :',
+         ',F7.0,' M'/5X,'INKREMENT IN ZEITRICHT.    DELT ',
+         ',: ',F7.0,' S'/5X,'ANZAHL DER TRAJEKTORIEN
+         ',NT : ',I5//)
```

```
C
C   AUFBAU UND DURCHNUMERIERUNG DES 3-D GITTERS
```

```
C   CALL SORGIT (M,N,L,LT,DELX,DELY,DELZ,X,IT)
```

```
C   MAXIMALE AUSDEHNUNG DES GITTERS
```

```
C
C   ML(1) = M
C   ML(2) = N
C   ML(3) = L
C   ML(4) = LT
C   DEL(1) = DELX
C   DEL(2) = DELY
C   DEL(3) = DELZ
C   DEL(4) = DELT
```

```
C   DO 100 I=1,4
C       XMAX(I) = (ML(I)-1)*DEL(I)
100   CONTINUE
```

```
C   TRAJEKTORIEN-ANZAHL-SCHLEIFE
```

```
C   110 IDT = NINT(TS(5)/TS(6))
```

```
C   DO 120 I=1,3
C       ARG(I) = TS(I)
C       XT(0,I) = TS(I)
120   CONTINUE
```

```
C   ZT(0) = TS(4)
C   T = TS(4)
C   MERK = 0
```

```
C   DO 130 I=1,4
C       IF (TS(I).GT.XMAX(I)) THEN
2000   WRITE (6,2000) K
C       FORMAT (//' T R A J E K T O R I E   N R : ',I2,
+             ' L I E G T   A U S S E R H A L B   D E S   I N T E R P O L A T I O N S G E B I E T E S   !!!' /
+             80('-')//)
C       GOTO 300
C       END IF
130   CONTINUE
C   TP = 0
```

```
DO 140 J=1,LT
  TG(J) = TP
  TP = TP+DELT
140  CONTINUE
C
C   TRAJEKTORIEN ZEITSCHRITTWEITE
C
DO 270 J=1,IDT
C
C   BESTIMMUNG DER LAGE DER TRAJEKTORIE IM GITTER
C
C
C   CALL VORITP (ARG,ML,DEL,MIN)
C
C   BESTIMMUNG DES INTERPOLATIONSWUERFELS
C
DO 160 K1=1,LT
  DO 150 I=1,3
    CALL INTPO (MIN,M,L,X,V(1,I),ARG,DELX,DELY,VTR(I),IT)
    VJ(K1,I) = VTR(I)
150  CONTINUE
    MIN(2) = MIN(2)+N
160  CONTINUE
C
C   INTEPOLATION IN DER ZEITRICHTUNG
C
DO 170 I=1,3
  CALL LAGRA (TG,VJ(1,I),LT,T,VTR(I))
170  CONTINUE
C
DO 180 I=1,3
  IF (J.EQ.1) THEN
    VT(0,I) = VTR(I)
  END IF
180  CONTINUE
C
T = T+TS(6)
DO 200 I=1,3
  DTX(0,I) = VTR(I)*TS(6)+XT(J-1,I)
  IF (DTX(0,I).LT.0.OR.DTX(0,I).GT.XMAX(I).OR.T.GT.XMAX(4)) THEN
    DO 190 II=1,3
      XT(J,II) = DTX(0,II)
190  CONTINUE
      ZT(J) = T
      NP = J-1
      MERK = 1
      GOTO 280
    END IF
    ARG(I) = DTX(0,I)
200  CONTINUE
C
C   ANFANG DER ITERATIONSSCHLEIFE
C
C
LL = 1
210 CALL VORITP (ARG,ML,DEL,MIN)
C
```



```
DO 230 K1=1,LT
  DO 220 I=1,3
    CALL INTPO (MIN,M,L,X,V(1,I),ARG,DELX,DELY,VTR(I),IT)
    VJ(K1,I) = VTR(I)
220    CONTINUE
    MIN(2) = MIN(2)+N
230    CONTINUE
C
  S = 0
  DO 240 I=1,3
    CALL LAGRA (TG,VJ(1,I),LT,T,VTR(I))
    DTX(LL,I) = 0.5*(DTX(0,I)+VTR(I)*TS(6)+XT(J-1,I))
    S = S+(DTX(LL,I)-DTX(LL-1,I))**2
240    CONTINUE
C
  S = SQRT(S)
  IF (S.GT.EPS) THEN
C
    DO 250 I=1,3
      ARG(I) = DTX(LL,I)
250    CONTINUE
C
    LL = LL+1
    IF (LL.GT.IMAX) THEN
      DO 255 II=1,3
        XT(J,II) = DTX(LL-1,II)
255    CONTINUE
        ZT(J) = T
        NP=J-1
        MERK=2
        GOTO 280
      END IF
      GOTO 210
    END IF
C
    DO 260 I=1,3
      XT(J,I) = DTX(LL,I)
      VT(J,I) = VTR(I)
      ZT(J) = T
      ARG(I) = XT(J,I)
260    CONTINUE
C
270    CONTINUE
C
  NP = IDT
280 WRITE (8,4000) K
4000 FORMAT ('T R A J E K T O R I E N R : ',I4)
  WRITE (6,5000) K,TS(5),TS(6)
5000 FORMAT (///5X,'T R A J E K T O R I E N R : ',I4//5X,
+ 'BEOBACHTUNGSDAUER : ',F7.0,' S'/5X,'RECHENZEITSCHRITT ',
+ ': ',F7.0,' S'//5X,70('-')/5X,'| ZEIT | ',
+ 'KOORDINATEN | GESCHW. ', 'KOMP. | ',
+ 'GESCHW. | ',/5X,'| (S) | X (M) | ',
+ 'Y (M) | Z(M) |U(M/S) | V(M/S) ', '|W(M/S) | ',
+ ' M/S | ',/5X,70('-'))
```

C

```
DO 290 J=0,NP
C
  WTRA(J) = SQRT(VT(J,1)**2+VT(J,2)**2+VT(J,3)**2)
C
  WRITE (6,7000) ZT(J),(XT(J,I),I=1,3),(VT(J,I),I=1,3),WTRA(J)
  WRITE (8,6000) ZT(J),(XT(J,I),I=1,3),(VT(J,I),I=1,3),WTRA(J)
6000  FORMAT (F6.0,1X,F7.1,1X,F7.1,1X,F7.2,1X,F6.2,1X,F6.2,1X,F6.3,
+        1X,F5.1)
7000  FORMAT (5X,'| ',F6.0,'| ',F7.1,'| ',F7.1,'| ',F7.2,'| ',F6.2,
+        ' | ',F6.2,' | ',F6.3,' | ',F5.1,' | ')
290  CONTINUE
  IF (MEREQ.1) WRITE (6,8000) ZT(NP+1),(XT(NP+1,I),I=1,3)
8000  FORMAT (5X,'| ',F6.0,'| ',F7.1,'| ',F7.1,'| ',F7.2,'| ',
+        ' TRAJEKTORIE AUSSERHALB DES GITTERS','| ')
  IF (MEREQ.2) WRITE (6,8500) ZT(NP+1),(XT(NP+1,I),I=1,3),IMAX
8500  FORMAT (5X,'| ',F6.0,'| ',F7.1,'| ',F7.1,'| ',F7.2,'| ',
+        ' KEINE KONVERGENZ NACH',I4,' ITERAT. ',| ')
  WRITE (6,9000)
9000  FORMAT (5X,70(' -')////)
C
  300 RETURN
  END
C
```

```
C
C      SUBROUTINE SORGIT (M,N,L,LT,DELX,DELY,DELZ,X,IT)
C
C      PROGRAMM ZUM AUFBAU UND DURCHNUMERIERUNG DES 3-D GITTERS MIT
C      AEQUISTANTEN STUETZSTELLEN.
C
C      EINGABE:
C
C      M.....ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN DER X-RICHTUNG
C      N.....ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN DER Y-RICHTUNG
C      L.....ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN DER Z-RICHTUNG
C      LT.....ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN DER ZEIT-RICHTUNG
C
C      DELX.....INKREMENT IN DER X-RICHT. (M)
C      DELY.....INKREMENT IN DER Y-RICHT. (M)
C      DELZ.....INKREMENT IN DER Z-RICHT. (M)
C
C      AUSGABE:
C
C      X(M*N*...,1)...NUMERIERTE X-KOORDINATE IM GITTER
C      X(M*N*...,2)...NUMERIERTE Y-KOORDINATE IM GITTER
C      X(M*N*...,3)...NUMERIERTE Z-KOORDINATE IM GITTER
C
C      DIMENSION X(IT,3)
C
C      IS = 0
C      LP = 1
C      IN = M*N*L
C
C      DO 180 JT=1,LT
C          IM = 1+IS
C
C          ANFANGSWERT IN X-RICHT.
C
C          W = 0.
C          DO 120 K=1,N
C              DO 110 J=1,M
C                  DO 100 I=1,L
C                      X(IM,1) = W
C                      IM = IM+1
100                  CONTINUE
C                      W = W+DELX
110                  CONTINUE
C                      W = 0.
120                  CONTINUE
C
C          IM = 1+IS
C
C          ANFANGSWERT IN Y-RICHT.
C
C          W = 0.
C          DO 140 K=1,N
C              DO 130 I=1,M*L
C                  X(IM,2) = W
C                  IM = IM+1
```

```
130     CONTINUE
      W = W+DELY
140     CONTINUE
C
C     GITTERWERTE FUER Z-RICHTUNG
C
      IM = 1+IS
C
      W = 0.
      DO 170 K=1,N
        DO 160 J=1,M
          DO 150 I=1,L
            X(IM,3) = W
            IM = IM+1
            W = W+DELZ
150          CONTINUE
            W = 0.
160          CONTINUE
            W = 0.
170          CONTINUE
C
      IS = M*N*L*JT
180     CONTINUE
C
      RETURN
      E N D
C
```

```
C
SUBROUTINE VORITP (ARG,ML,DEL,MIN)
C
C   SUBROUTINE ZUR BESTIMMUNG DER LAGE DER ARGUMENTE IM GITTER
C
C   DIMENSION ARG(3),XMIN(4),LA(3),MIN(3),ML(4),DEL(4)
C
C   BESTIMMUNG DER LAGE DES ARGUMENTES IM GITTER UND
C   DER ZUGEHÖRIGEN INTERPOLATIONSSTÜTZARGUMENTE
C
C
DO 100 I=1,3
    XMIN(I) = 0.
100  CONTINUE
C
DO 120 I=1,3
    LA(I) = IFIX((ARG(I)-XMIN(I))/DEL(I))+1
    IF (LA(I)-1.LT.1) THEN
        LA(I) = LA(I)+1
    END IF
110  IF (LA(I)+2.GT.ML(I)) THEN
        LA(I) = LA(I)-1
        GOTO 110
    END IF
    MIN(I) = LA(I)-1
120  CONTINUE
C
RETURN
E N D
C
```

```
C
SUBROUTINE INTPO (MIN,M,L,X,F,ARG,DELX,DELY,FKT,IT)
C
C SUBROUTINE ZUR BESTIMMUNG DES INTERPOLATIONSWUERFELS
C
DIMENSION MIN(3),IN(64),X(IT,3),F(IT),ARG(3),FX(16),XH(4),FY(4),
+      YH(4),ZH(4),FZ(4)
C
C BESTIMMUNG DER NUMMERN DES INTERPOLATIONSWUERFELS
C
C
II = 1
IZ = MIN(1)
JZ = MIN(2)
KZ = MIN(3)
DO 120 I=1,4
  DO 110 J=1,4
    DO 100 K=1,4
      IN(II) = KZ+L*(IZ-1)+M*L*(JZ-1)
      II = II+1
      KZ = KZ+1
100    CONTINUE
      IZ = IZ+1
      KZ = MIN(3)
110    CONTINUE
      IZ = MIN(1)
      KZ = MIN(3)
      JZ = JZ+1
120    CONTINUE
C
C INTERPOLATION AN DER STELLE ARG(3) IN DER -Z-RICHT
C
C
II = 1
DO 140 J=1,16
  DO 130 I=1,4
    ZH(I) = X(IN(II),3)
    FZ(I) = F(IN(II))
    II = II+1
130    CONTINUE
    CALL LAGR (ZH,FZ(1),FZ(2),FZ(3),FZ(4),ARG(3),FT)
    FX(J) = FT
140    CONTINUE
C
C INTERPOLATION AN DER STELLE ARG(1) IN DER -X-RICHT
C
C
J = 1
DO 160 K=1,4
  D = 0.
  DO 150 I=1,4
    XH(I) = X(IN(1),1)+D
    D = D+DELX
150    CONTINUE
    CALL LAGR (XH,FX(J),FX(J+1),FX(J+2),FX(J+3),ARG(1),FT)
C
J = J+4
FY(K) = FT
160 CONTINUE
```

```
D = 0.
DO 170 I=1,4
  YH(I) = X(IN(1),2)+D
  D = D+DELY
170 CONTINUE
CALL LAGR (YH,FY(1),FY(2),FY(3),FX(4),ARG(2),FKT)
C
RETURN
E N D
C
C
C
SUBROUTINE LAGRA (X,F,LT,A,FKT)
C
INTERPOLATION NACH LAGRANGSCHER FORMEL IN DER ZEITRICHT.
C
DIMENSION X(LT),F(LT)
FKT = 0.
C
ANWENDUNG DER LAGRANGE-FORMEL
C
DO 120 I=1,LT
  STR = F(I)
  DO 110 J=1,LT
    IF (I-J) 100,110,100
100   STR = STR*(A-X(J))/(X(I)-X(J))
110   CONTINUE
120   FKT = FKT+STR
C
RETURN
E N D
C
C
C
SUBROUTINE LAGR (X,F1,F2,F3,F4,A,FKT)
C
INTERPOLATION NACH LAGRANGSCHER FORMEL
C
DIMENSION X(4),F(4)
F(1) = F1
F(2) = F2
F(3) = F3
F(4) = F4
N = 4
FKT = 0.
C
ANWENDUNG DER LAGRANGE-FORMEL
C
DO 120 I=1,N
  STR = F(I)
  DO 110 J=1,N
    IF (I-J) 100,110,100
100   STR = STR*(A-X(J))/(X(I)-X(J))
110   CONTINUE
120   FKT = FKT+STR
RETURN
E N D
```

ANHANG B : Testergebnisse

PARAMETER DES GITTERS

 ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN X-RICHT M : 4
 ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN Y-RICHT. N : 4
 ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN Z-RICHT. L : 4
 ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN ZEITRICHT. LT: 2
 INKREMENT IN X-RICHT. DELX : 100. M
 INKREMENT IN Y-RICHT. DELY : 100. M
 INKREMENT IN Z-RICHT. DELZ : 100. M
 INKREMENT IN ZEITRICHT. DELT : 100. S
 ANZAHL DER TRAJEKTORIEN NT : 2

TRAJEKTORIE NR : 1

BEOBACHTUNGSDAUER : 100. S
 RECHENZEITSCHRITT : 10. S

ZEIT (S)	KOORDINATEN			GESCHW. KOMP.			GESCHW. M/S	
	X (M)	Y (M)	Z(M)	U(M/S)	V(M/S)	W(M/S)		
10.	100.0	0.0	100.00	1.30	1.15	0.130	1.7	
20.	114.6	12.3	101.46	1.62	1.31	0.162	2.1	
30.	132.7	26.3	103.27	1.99	1.50	0.199	2.5	
40.	154.8	42.4	105.48	2.43	1.72	0.243	3.0	
50.	181.7	60.8	108.17	2.94	1.97	0.294	3.6	
60.	214.1	82.0	111.41	3.53	2.27	0.353	4.2	
70.	252.7	106.4	115.27	4.20	2.60	0.420	5.0	
80.	298.2	134.1	119.82	4.89	2.95	0.489	5.7	
90.	347.1	132.3	119.47	TRAJEKTORIE AUSSERHALB DES GITTERS				

TRAJEKTORIE NR : 2

BEOBACHTUNGSDAUER : 100. S
 RECHENZEITSCHRITT : 10. S

ZEIT (S)	KOORDINATEN			GESCHW. KOMP.			GESCHW. M/S	
	X (M)	Y (M)	Z(M)	U(M/S)	V(M/S)	W(M/S)		
0.	0.0	0.0	0.0	1.00	1.00	0.100	1.4	
10.	11.6	10.8	1.16	1.32	1.16	0.132	1.8	
20.	26.5	23.3	2.65	1.67	1.34	0.167	2.1	
30.	45.3	37.7	4.53	2.09	1.54	0.209	2.6	
40.	68.6	54.3	6.86	2.56	1.78	0.256	3.1	
50.	97.0	73.5	9.70	3.11	2.06	0.311	3.7	
60.	131.2	95.6	13.12	3.73	2.37	0.373	4.4	
70.	171.9	121.0	17.19	4.41	2.70	0.441	5.2	
80.	219.4	149.7	21.94	5.08	3.04	0.508	5.9	
90.	273.0	181.5	27.30	5.65	3.33	0.565	6.6	
100.	329.6	180.1	27.02	TRAJEKTORIE AUSSERHALB DES GITTERS				

GITTERANORDNUNG

NR	X (M)	Y (M)	Z (M)	U(M/S)	V(M/S)	W(M/S)
1	0.0	0.0	0.0	1.00	1.00	0.100
2	0.0	0.0	100.0	1.00	1.00	0.100
3	0.0	0.0	200.0	1.00	1.00	0.100
4	0.0	0.0	300.0	1.00	1.00	0.100
5	100.0	0.0	0.0	1.00	1.00	0.100
6	100.0	0.0	100.0	1.00	1.00	0.100
7	100.0	0.0	200.0	1.00	1.00	0.100
8	100.0	0.0	300.0	1.00	1.00	0.100
9	200.0	0.0	0.0	1.00	1.00	0.100
10	200.0	0.0	100.0	1.00	1.00	0.100
11	200.0	0.0	200.0	1.00	1.00	0.100
12	200.0	0.0	300.0	1.00	1.00	0.100
13	300.0	0.0	0.0	1.00	1.00	0.100
14	300.0	0.0	100.0	1.00	1.00	0.100
15	300.0	0.0	200.0	1.00	1.00	0.100
16	300.0	0.0	300.0	1.00	1.00	0.100
17	0.0	100.0	0.0	2.00	1.50	0.200
18	0.0	100.0	100.0	2.00	1.50	0.200
19	0.0	100.0	200.0	2.00	1.50	0.200
20	0.0	100.0	300.0	2.00	1.50	0.200
21	100.0	100.0	0.0	2.00	1.50	0.200
22	100.0	100.0	100.0	2.00	1.50	0.200
23	100.0	100.0	200.0	2.00	1.50	0.200
24	100.0	100.0	300.0	2.00	1.50	0.200
25	200.0	100.0	0.0	2.00	1.50	0.200
26	200.0	100.0	100.0	2.00	1.50	0.200
27	200.0	100.0	200.0	2.00	1.50	0.200
28	200.0	100.0	300.0	2.00	1.50	0.200
29	300.0	100.0	0.0	2.00	1.50	0.200
30	300.0	100.0	100.0	2.00	1.50	0.200
31	300.0	100.0	200.0	2.00	1.50	0.200
32	300.0	100.0	300.0	2.00	1.50	0.200
33	0.0	200.0	0.0	3.00	2.00	0.300
34	0.0	200.0	100.0	3.00	2.00	0.300
35	0.0	200.0	200.0	3.00	2.00	0.300
36	0.0	200.0	300.0	3.00	2.00	0.300
37	100.0	200.0	0.0	3.00	2.00	0.300
38	100.0	200.0	100.0	3.00	2.00	0.300
39	100.0	200.0	200.0	3.00	2.00	0.300
40	100.0	200.0	300.0	3.00	2.00	0.300
41	200.0	200.0	0.0	3.00	2.00	0.300
42	200.0	200.0	100.0	3.00	2.00	0.300
43	200.0	200.0	200.0	3.00	2.00	0.300
44	200.0	200.0	300.0	3.00	2.00	0.300
45	300.0	200.0	0.0	3.00	2.00	0.300
46	300.0	200.0	100.0	3.00	2.00	0.300
47	300.0	200.0	200.0	3.00	2.00	0.300
48	300.0	200.0	300.0	3.00	2.00	0.300
49	0.0	300.0	0.0	4.00	2.50	0.400
50	0.0	300.0	100.0	4.00	2.50	0.400
51	0.0	300.0	200.0	4.00	2.50	0.400
52	0.0	300.0	300.0	4.00	2.50	0.400

53	100.0	300.0	0.0	4.00	2.50	0.400
54	100.0	300.0	100.0	4.00	2.50	0.400
55	100.0	300.0	200.0	4.00	2.50	0.400
56	100.0	300.0	300.0	4.00	2.50	0.400
57	200.0	300.0	0.0	4.00	2.50	0.400
58	200.0	300.0	100.0	4.00	2.50	0.400
59	200.0	300.0	200.0	4.00	2.50	0.400
60	200.0	300.0	300.0	4.00	2.50	0.400
61	300.0	300.0	0.0	4.00	2.50	0.400
62	300.0	300.0	100.0	4.00	2.50	0.400
63	300.0	300.0	200.0	4.00	2.50	0.400
64	300.0	300.0	300.0	4.00	2.50	0.400
65	0.0	0.0	0.0	4.00	2.50	0.400
66	0.0	0.0	100.0	4.00	2.50	0.400
67	0.0	0.0	200.0	4.00	2.50	0.400
68	0.0	0.0	300.0	4.00	2.50	0.400
69	100.0	0.0	0.0	4.00	2.50	0.400
70	100.0	0.0	100.0	4.00	2.50	0.400
71	100.0	0.0	200.0	4.00	2.50	0.400
72	100.0	0.0	300.0	4.00	2.50	0.400
73	200.0	0.0	0.0	4.00	2.50	0.400
74	200.0	0.0	100.0	4.00	2.50	0.400
75	200.0	0.0	200.0	4.00	2.50	0.400
76	200.0	0.0	300.0	4.00	2.50	0.400
77	300.0	0.0	0.0	4.00	2.50	0.400
78	300.0	0.0	100.0	4.00	2.50	0.400
79	300.0	0.0	200.0	4.00	2.50	0.400
80	300.0	0.0	300.0	4.00	2.50	0.400
81	0.0	100.0	0.0	5.00	3.00	0.500
82	0.0	100.0	100.0	5.00	3.00	0.500
83	0.0	100.0	200.0	5.00	3.00	0.500
84	0.0	100.0	300.0	5.00	3.00	0.500
85	100.0	100.0	0.0	5.00	3.00	0.500
86	100.0	100.0	100.0	5.00	3.00	0.500
87	100.0	100.0	200.0	5.00	3.00	0.500
88	100.0	100.0	300.0	5.00	3.00	0.500
89	200.0	100.0	0.0	5.00	3.00	0.500
90	200.0	100.0	100.0	5.00	3.00	0.500
91	200.0	100.0	200.0	5.00	3.00	0.500
92	200.0	100.0	300.0	5.00	3.00	0.500
93	300.0	100.0	0.0	5.00	3.00	0.500
94	300.0	100.0	100.0	5.00	3.00	0.500
95	300.0	100.0	200.0	5.00	3.00	0.500
96	300.0	100.0	300.0	5.00	3.00	0.500
97	0.0	200.0	0.0	6.00	3.50	0.600
98	0.0	200.0	100.0	6.00	3.50	0.600
99	0.0	200.0	200.0	6.00	3.50	0.600
100	0.0	200.0	300.0	6.00	3.50	0.600
101	100.0	200.0	0.0	6.00	3.50	0.600
102	100.0	200.0	100.0	6.00	3.50	0.600
103	100.0	200.0	200.0	6.00	3.50	0.600
104	100.0	200.0	300.0	6.00	3.50	0.600
105	200.0	200.0	0.0	6.00	3.50	0.600
106	200.0	200.0	100.0	6.00	3.50	0.600
107	200.0	200.0	200.0	6.00	3.50	0.600
108	200.0	200.0	300.0	6.00	3.50	0.600

109	300.0	200.0	0.0	6.00	3.50	0.600
110	300.0	200.0	100.0	6.00	3.50	0.600
111	300.0	200.0	200.0	6.00	3.50	0.600
112	300.0	200.0	300.0	6.00	3.50	0.600
113	0.0	300.0	0.0	7.00	4.00	0.700
114	0.0	300.0	100.0	7.00	4.00	0.700
115	0.0	300.0	200.0	7.00	4.00	0.700
116	0.0	300.0	300.0	7.00	4.00	0.700
117	100.0	300.0	0.0	7.00	4.00	0.700
118	100.0	300.0	100.0	7.00	4.00	0.700
119	100.0	300.0	200.0	7.00	4.00	0.700
120	100.0	300.0	300.0	7.00	4.00	0.700
121	200.0	300.0	0.0	7.00	4.00	0.700
122	200.0	300.0	100.0	7.00	4.00	0.700
123	200.0	300.0	200.0	7.00	4.00	0.700
124	200.0	300.0	300.0	7.00	4.00	0.700
125	300.0	300.0	0.0	7.00	4.00	0.700
126	300.0	300.0	100.0	7.00	4.00	0.700
127	300.0	300.0	200.0	7.00	4.00	0.700
128	300.0	300.0	300.0	7.00	4.00	0.700

ANHANG C : Programmliste einer meteorologischen Anwendung

```
//IMK910TR JOB (0910,251,PGA70),ZIMMER,NOTIFY=IMK910,MSGCLASS=H,  
// REGION=4000K  
// EXEC F7CG,PARM.C='LANGLVL(77)',  
//.PARM.G='SIZE=4000K',COMP=7NEU  
//C.SYSPRINT DD SYSOUT=*  
//C.SYSIN DD *
```

```
* TEST PROGRAMM FUER 3-D TRAJEKTORIE  
C MASSENKONSISTENTES WINDFELD  
C ETA-KOORDINATEN  
C  
C PARAMETER (M=30,N=30,L=31,LT=2,IT=M*N*L*LT,NT=1,DELX=2000.,  
+ DELY=2000.,DELZ= 40.,DELT=10800.,EPS=0.0100,IMAX=500,  
+ NZ=100)  
C DIMENSION TS(6,NT),V(IT,3),X(IT,3),ZT(0:NZ),XT(0:NZ,3),  
+ VT(0:NZ,3)  
C CHARACTER*80 FORM1,FORM2,FORM3,FORM4  
C DIMENSION XG( 2,M*N),HO(M*N),XMI( 2),DEM( 2),IA( 2+1),IX(M*N),  
+ IY(M*N),ARG(2)
```

```
C  
C EINGABE:  
C  
C M.....ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN DER X-RICHTUNG  
C N.....ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN DER Y-RICHTUNG  
C L.....ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN DER Z-RICHTUNG  
C LT.....ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN DER ZEIT-RICHTUNG  
C IT=M*N*L*LT  
C  
C DELX.....INKREMENT IN DER X-RICHT. (M)  
C DELY.....INKREMENT IN DER Y-RICHT. (M)  
C DELZ.....INKREMENT IN DER Z-RICHT. (M)  
C DELT.....INKREMENT IN DER ZEIT-RICHT (S)  
C  
C NT.....ANZAHL DER TRAJEKTORIEN  
C TS(1,NT).....STARTKOORD. DER TRAJEKTORIE IM GITTER (M) X-RICHT  
C TS(2,NT).....STARTKOORD. DER TRAJEKTORIE IM GITTER (M) Y-RICHT  
C TS(3,NT).....STARTKOORD. DER TRAJEKTORIE IM GITTER (M) Z-RICHT  
C TS(4,NT).....STARTZEIT IM HINBLICK AUF DAS ERSTE FELD (S)  
C TS(5,NT).....VERFOLGUNGSDAUER (S)  
C TS(6,NT).....RECHENZEITSCHRITT (S)  
C NZ.....VERFOLGUNGSDAUER/RECHENZEITSCHRITT  
C  
C V(M*N*L*LT,3).ZUGEHORIGEN FUNKTIONSWERTE AN  
C DEN GITTERPUNKTEN (U,V,W)  
C SIE MUESSEN DURCHNUMERIERT WERDEN VON  
C 1 BIS M*N*L*LT IN DER REIHEN  
C FOLGE Z-,X-,Y-RICHTUNG  
C  
C EPS.....GENAUIGKET DER ITERATION (Z.B. 0.0001 M)  
C IMAX.....MAXIMALE ANZAHL DER ITERATIONEN Z.B. 50  
C  
C UEBRIGE VARIABLEN:  
C  
C X(M*N*...,1)...NUMERIERTE X-KOORDINATE IM GITTER  
C X(M*N*...,2)...NUMERIERTE Y-KOORDINATE IM GITTER  
C X(M*N*...,3)...NUMERIERTE Z-KOORDINATE IM GITTER  
C
```

```
C   AUSGABE:
C
C   XT(0:NZ,1-3)....(M) KOORDINATEN DER TRAJEKTORIE
C   ZT(0:NZ).....(S) ZEITKOORDINATEN DER TRAJEKTORIE
C   VT(0:NZ,3).....M/S TRAJEKTORIENGESCHWINDIGKEIT
C
C   EINLESEN DER TRAJEKTORIEN
C
C   DO 100 I=1,NT
C     READ (5,*) (TS(J,I),J=1,6)
100  CONTINUE
C
C
C   SORTIEREN DER GITTERPUNKTE IN X-,Y-EBENE ZUR UMRECHNUNG DER
C   STARTKOORDINATEN DER TRAJEKTORIE VOM Z- AUF ETA-FLAECHE
C
C   IN = M*N*L
C   XOY = 0.
C   YOY = 0.
C   IH = M*N
C   KP=2
C   CALL SORT2N (M,N,XOY,YOY,DELX,DELY,XG,IH,HO,KP)
C   CALL VORINT (IH,KP,XG,HO,XMI,DEM,IA,IX,IY)
C
C   LP = 1
C   LW = 1
C   FORM1 = '(1X, F6.2/)'
C   FORM2 = '(1X, F6.3/)'
C   WRITE (FORM1(5:6),'(I2)') L
C   WRITE (FORM2(5:6),'(I2)') L
C   FORM3 = '(1X,21F6.2/1X, F6.2)'
C   FORM4 = '(1X,21F6.3/1X, F6.3)'
C
C   IF (L.GT.21) THEN
C     FORM1 = FORM3
C     FORM2 = FORM4
C     LU = L-21
C     WRITE (FORM1(15:16),'(I2)') LU
C     WRITE (FORM2(15:16),'(I2)') LU
C   END IF
C
C   EINLESEN DER U-,V-,W-GESCHWINDIGKEITEN
C
C   DO 125 I=1,LT
C     DO 115 J=1,M*(N+1)*2
115     READ (12,1350)
1350    FORMAT (1X)
C     DO 135 K=1,3
C       READ (12,FORM1) (V(J,K),J=LP,IN*I)
C       READ (12,1350)
C       READ (12,1350)
135    CONTINUE
C     REWIND 12
C     LP = IN*I+1
C     LW = IN*I+1
125    CONTINUE
C
C
```

```

      H = (L-1)*DELZ
DO 140 K=1,NT
  ARG(1) = TS(1,K)
  ARG(2) = TS(2,K)
  CALL MEDINT (ARG,ZR,IH,KP,XG,HO,XMI,DEM,IA,IX,IY,RA2,KS)
C
C   UMRECHNUNG DER STARTHÖHE VON Z AUF ETA-KOORDINATEN
C
      TS(3,K) = TS(3,K)/(H-ZR)*H
C
C   AUFRUF DES TRAJEKTORIENPROGRAMMES
C
      CALL TRAJ (M,N,L,LT,DELX,DELY,DELZ,DELT,NT,TS(1,K),V,EPS,IMAX,
+             IT,X,K,ZT,XT,VT,NP,NZ)
C
C   UMRECHNUNG VON ETA- AUF Z- HÖHEN
C
      WRITE (6,5000) K,TS(5,K),TS(6,K)
5000 FORMAT (//5X,'T R A J E K T O R I E N R : ',I4//5X,
+          'BEOBACHTUNGSDAUER : ',F7.0,' S'/5X,'RECHENZEITSCHRITT ',
+          ': ',F7.0,' S'/5X,60('-')/5X,' | ZEIT | ',
+          'KOORDINATEN | GESCHW. ', 'KOMP. | ',
+          /5X,' | (S) | X (M) | ',
+          'Y (M) | Z(M) |U(M/S) | V(M/S) ', ' |W(M/S) | ',
+          /5X,59('-'))
C
      DO 155 J=0,NP
        ARG(1) = XT(J,1)
        ARG(2) = XT(J,2)
        CALL MEDINT (ARG,ZR,IH,KP,XG,HO,XMI,DEM,IA,IX,IY,RA2,KS)
        XT(J,3) = XT(J,3)*(H-ZR)/H+ZR
        WRITE (6,7000) ZT(J),(XT(J,I),I=1,3),(VT(J,I),I=1,3)
7000  FORMAT (5X,' | ',F6.0,' | ',F7.1,' | ',F7.1,' | ',F7.2,' | ',F6.2,
+          ' | ',F6.2,' | ',F6.3,' | ')
155   CONTINUE
      WRITE (6,9000)
9000  FORMAT (5X,60('-')///)
C
      140 CONTINUE

C   WRITE (6,1000)
C1000 FORMAT (1H1//5X,' | NR | X (M) | Y (M) | Z (M) |U(M/S)|V(M/S)|'
C   +          ',W(M/S)|'/5X,54('-'))
C   DO 150 I=1,IM
C   WRITE (6,2000) I,(X(I,J),J=1,3),(V(I,J),J=1,3)
C2000  FORMAT (5X,' | ',I4,' | ',3(F8.1,' | '),2(F6.2,' | '),F6.3,' | ')
C 150  CONTINUE
C
      STOP
      END
//G.FT08FO01 DD DISP=SHR,DSN=IMK910.TRAJEKT.DATA(TEST)
//G.FT12FO01 DD DISP=SHR,DSN=IMK910.TRAJEKT.DATA(WINDNEST)
//G.SYSIN DD *
7700.,10800.,300.,1500.,9900.,600.
//

```


ANHANG D : Ergebnisse

P A R A M E T E R D E S G I T T E R S

```

-----
ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN X-RICHT      M : 30
ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN Y-RICHT.    N : 30
ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN Z-RICHT.    L : 31
ANZAHL DER GITTERPUNKTE IN ZEITRICHT.  LT:  2
INKREMENT IN X-RICHT.                   DELX : 2000. M
INKREMENT IN Y-RICHT.                   DELY : 2000. M
INKREMENT IN Z-RICHT.                   DELZ :   40. M
INKREMENT IN ZEITRICHT.                 DELT : 10800. S
ANZAHL DER TRAJEKTORIEN                 NT  :    1
    
```

T R A J E K T O R I E N R : 1

BEOBACHTUNGSDAUER : 9900. S

RECHENZEITSCHRITT : 600. S

ZEIT (S)	KOORDINATEN			GESCHW. KOMP.			GESCHW. M/S	
	X (M)	Y (M)	ETA(M)	U(M/S)	V(M/S)	W(M/S)		
1500.	7700.0	10800.0	312.33	6.36	2.78	-0.008	6.9	
2100.	11504.0	12451.6	303.76	4.45	4.53	-0.021	6.4	
2700.	15284.8	14176.6	290.82	4.36	4.57	-0.022	6.3	
3300.	19024.1	15932.1	279.52	4.25	4.55	-0.015	6.2	
3900.	22675.8	17677.4	271.08	4.10	4.44	-0.013	6.0	
4500.	26162.1	19376.0	265.18	3.81	4.22	-0.007	5.7	
5100.	29388.2	21000.1	260.25	3.39	3.92	-0.009	5.2	
5700.	32320.2	22540.0	253.49	3.01	3.64	-0.013	4.7	
6300.	35009.2	24019.4	240.45	2.72	3.47	-0.030	4.4	
6900.	37510.2	25465.4	224.24	2.46	3.33	-0.024	4.1	
7500.	39872.2	26910.1	212.52	2.26	3.30	-0.015	4.0	
8100.	42138.1	28394.8	206.89	2.06	3.31	-0.003	3.9	
8700.	44322.5	29942.3	204.28	1.85	3.36	-0.005	3.8	
9300.	46436.6	31553.7	200.21	1.69	3.38	-0.008	3.8	
9900.	48516.6	33232.7	193.53	1.59	3.49	-0.014	3.8	
10500.	50597.7	34996.5	189.20	1.51	3.60	-0.000	3.9	
11100.	52682.1	35041.0	185.14	TRAJEKTORIE AUSSERHALB DES GITTERS				

T R A J E K T O R I E N R : 1

BEOBACHTUNGSDAUER : 9900. S

RECHENZEITSCHRITT : 600. S

ZEIT (S)	KOORDINATEN			GESCHW. KOMP.		
	X (M)	Y (M)	Z (M)	U (M/S)	V (M/S)	W (M/S)
1500.	7700.0	10800.0	347.39	6.36	2.78	-0.008
2100.	11504.0	12451.6	332.80	4.45	4.53	-0.021
2700.	15284.8	14176.6	310.94	4.36	4.57	-0.022
3300.	19024.1	15932.1	294.33	4.25	4.55	-0.015
3900.	22675.8	17677.4	278.74	4.10	4.44	-0.013
4500.	26162.1	19376.0	272.42	3.81	4.22	-0.007
5100.	29388.2	21000.1	267.47	3.39	3.92	-0.009
5700.	32320.2	22540.0	262.40	3.01	3.64	-0.013
6300.	35009.2	24019.4	253.59	2.72	3.47	-0.030
6900.	37510.2	25465.4	236.81	2.46	3.33	-0.024
7500.	39872.2	26910.1	225.30	2.26	3.30	-0.015
8100.	42138.1	28394.8	220.96	2.06	3.31	-0.003
8700.	44322.5	29942.3	218.97	1.85	3.36	-0.005
9300.	46436.6	31553.7	223.55	1.69	3.38	-0.008
9900.	48516.6	33232.7	235.15	1.59	3.49	-0.014
10500.	50597.7	34996.5	262.58	1.51	3.60	-0.000