Januari 1983

r Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

ASPECTEN van INFORMATIEVERWERKING
37

Het schatten van de bak-inhoud bij machines voor grondverzet

W. van Doorne

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiele publicaties.
Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.
Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking.

ASPECTEN van INFORMATIEVERWERKING

37

De nota's handelend over Aspecten van Informatieverwerking bevatten inlichtingen over de ontwikkeling van de informatieverwerking binnen het Instituut. Naast meer concluderende en toelichtende beschouwingen wordt aandacht besteed aan het gebruik van programma's, programmapakketten en apparatuur. Tevens worden inlichtingen gegeven over praktijkervaring met en toepassing van de informatieverwerking.

INLEIDING

Voor het opstellen van begrotingen van landinrichtings-werken moet men onder meer op de hoogte zijn van de kosten van machinegebruik. Ook dient men te beschikken over informatie betreffende de capaciteit van de in te zetten machines. Bij machines waarbij het eigenlijke werktuig bestaat uit een bak (dieplepels, dumpers, scrapers) wordt de produktie goeddeels bepaald door de netto inhoud van de bak.

Van veel bakken echter, is de inhoud weinig nauwkeurig bekend, beoordelingsfouten tot 20 procent komen voor (De WILDE, 1981). Daarom is het noodzakelijk te beschikken over een doeltreffende methode voor het schatten van de netto inhoud van een bak op grond van een beschrijving van vorm en afmetingen ervan. Maar de vorm kan al gecompliceerd zijn bij het voorkomen van een betrekkelijk gering aantal platte en/of gekromde zijvlakken. De gekromde vlakken zijn bovendien lang niet altijd exact te beschrijven. Een algemeen toepasbare methode voor 't schatten van de inhoud van een bak dient dus in principe een wijze van schematiseren tot een exact te beschrijven vorm in te houden en een berekeningsmethode voor de inhoud van de geschematiseerde bak. Bij een dergelijke schattings-methode is het gewenst dat men bij elke schematisering (uit te voeren volgens een nog vast te stellen methode) op eenvoudige wijze een indruk kan krijgen van de precisie van de berekende schatting van de inhoud.

In het volgende wordt uiteengezet hoe men komt tot een schattingsmethode die voldoet aan de geformuleerde eisen. Tevens wordt een eenvoudig te hanteren computer-programma gepresenteerd.

HET SCHEMATISEREN VAN DE BAK

Om vorm en afmetingen van een bak vast te leggen (in getallen, in een tekening) moet een voldoend aantal punten ervan bekend zijn. Het ligt voor de hand hierbij gebruik te maken van rechthoekige coordinaten ten opzichte van een vrij te kiezen nulpunt (0,0,0), dit mede ten behoeve van het vervaardigen van een tekening. Dan rijst de vraag: wat voor punten moet men opmeten?

Om die vraag te beantwoorden merken we op dat in het algemeen twee platte vlakken elkaar snijden volgens een rechte lijn en dat drie willekeurige platte vlakken samenkomen in een punt. Daarom moet men zeker die punten op de bak opmeten waarin drie of meer platte zijvlakken samenkomen. Dit soort punten zullen we knikpunten noemen. Met een 'vlak' wordt hier en hierna een gedeelte (facet) van 't bak-oppervlak bedoeld en niet een onbegrensd vlak, zoals in de wiskunde.
Het verloop van een gekromd vlak kan men vastleggen door het opmeten van een voldoend aantal punten in dat vlak. Dit soort punten noemen we hier krommepunten.

Is 't nu mogelijk de bak te schematiseren en te karakteriseren met behulp van de gegeven knikpunten en de gekozen krommepunten? Dat hangt af van de vraag of de bak, beschouwd als gesloten ruimtelijke figuur, convex ('bol-achtig') is, of niet. Aangetoond zal worden dat genoemde schematisering bij een convexe bak zonder meer mogelijk is. Of bij een uitgevoerde schematisering sprake is van karakterisering, hangt af van

de gekozen dichtheid van de kromtepunten. Een niet-convexe bak kan men of opvatten als een convexe bak met convexe deuken of hem samengesteld denken uit convexe gedeelten.
Alles bij elkaar genomen is er blijkbaar genoeg aanleiding aandacht te gaan besteden aan het begrip 'convexiteit'.

CONVEXITEIT

Een convexe figuur is een gesloten figuur, gekenmerkt door de eigenschap dat, wanneer twee punten erop of erbinnen liggen, dat ook het geval is met elk punt op het rechte verbindingslijnstuk van die twee punten. Elke coordinaat van zo'n tussenpunt is een positief-gewogen rekenkundig gemiddelde van de overeenkomstige coordinaten van de twee punten. Omgekeerd stelt elk positief-gewogen gemiddelde een tussenpunt voor. Voorbeelden van convexe figuren zijn de rechthoek, de cirkel, de kubus en de bol.

Herhaalde toepassing van genoemd convexiteits-kenmerk leidt tot de conclusie dat in 't bijzonder het zwaartepunt (rekenkundig gemiddelde) van een stel punten op of binnen een convexe figuur, binnen de figuur gelegen is. We tonen dit aan via het principe van de inductie: aannemend dat het zwaartepunt van elk k-tal punten binnen de convexe figuur ligt, wordt bewezen dat dit eveneens geldt voor 't zwaartepunt van elk (k+1)-tal punten. Voor k=2 is de aanname (per definitie) juist en dus ook k=3, voor k=4, enz. en dus voor alle k.
De juistheid van de overgang op een punt extra blijkt uit het feit dat men het gemiddelde van k+1 punten kan schrijven als positief-gewogen gemiddelde van enerzijds het gemiddelde van k punten en anderzijds het extra punt P_{k+1}, en wel als volgt:

$$(P_1 + \ldots + P_{k+1}) / (k+1) =$$

$$= k/(k+1) * (P_1 + \ldots P_k)/k + 1/(k+1) * P_{k+1},$$

waarin P staat voor zowel de x-, y- als z-coordinaat van de betreffende punten.

Het feit dat het zwaartepunt van punten die binnen of op 'n convexe figuur liggen een 'binnenpunt' van die convexe figuur is, maakt een eenvoudige inhoudsberekening mogelijk. Dit komt hierna aan de orde.

HET OMHULLENDE VEELVLAK; HET CONSTRUEREN ERVAN

Stel dat er n punten (knik- en/of kromtepunten) op een bak opgemeten zijn. Elk drietal punten bepaalt een plat vlak. De overige punten liggen daarbij of aan weerszijden van dat vlak of alle aan de zelfde kant. Met behulp van de vlakken van het laatstgenoemde soort denken we ons nu een andere ruimtelijke figuur opgebouwd, begrensd door platte vlakken. Deze figuur is convex. Immers, liggen twee punten aan dezelfde kant van een vlak, dan is dat ook het geval met een tussenpunt. Bovendien liggen de punten van de bak op of binnen de nieuw geconstrueerde figuur, hetgeen uit de aanschouwing duidelijk is. De nieuwe figuur noemen we het omhullende veelvlak van de n (knik- en/of kromte-) punten of ook wel kortweg omhullende.

Heeft de bak een convexe vorm, dan zal de omhullende die vorm goed benaderen bij een voldoende dichtheid van de kromtepunten. Een niet-convexe bak laat zo'n benadering niet toe want ter plaatse van een indeuking valt de bak duidelijk binnen de omhullende.

De inhoud van een convexe bak kan blijkbaar worden geschat uit de inhoud van de omhullende. Daartoe moeten alle driehoekige zijvlakken bekend zijn. Wanneer dan een willekeurig punt binnen de omhullende bekend is, kan men dit punt verbinden met de drie hoekpunten van de zijvlakken en de inhouden van de verkregen viervlakken totaliseren. Dat is mogelijk omdat de omhullende convex is en omdat het zwaartepunt van de opgemeten knik- en kromtepunten als binnenpunt van de omhullende te gebruiken is.

Rekentechnisch doet zich een complicatie voor wanneer de omhullende een zijvlak heeft waarin zich meer dan drie van de opgemeten punten bevinden. Dat geval kan bijvoorbeeld optreden als de bak rechthoekige zijvlakken vertoont of wanneer men een bijzondere keuze van de kromtepunten doet. In zo'n geval immers, liggen de punten die buiten het bewuste zijvlak voorkomen, aan de zelfde kant van elk (!) drietal punten dat men in dat zijvlak kan onderscheiden. En dat zou leiden tot dubbeltelling van driehoekige grensvlakken bij het geautomatiseerd bepalen van de omhullende.

Een eenvoudige kunstgreep is voldoende om de complicatie op te vangen. In het computer-programma wordt aan de opgemeten punten een in absolute zin zeer kleine toevallige afwijking gegeven die een eventuele bijzondere ligging van de opgemeten punten teniet doet, maar geen merkbare invloed heeft op de inhoudsberekening.

Tijdens het bepalen van de zijvlakken van de omhullende wordt elk drietal punten beschouwd. In het ongunstigst denkbare geval moeten bij elk drietal alle overige n-3 punten worden onderzocht op hun ligging opdat komt vast te staan of het drietal wel of niet een zijvlak van de omhullende vormt. Omdat het aantal drietallen dat men uit n punten kan vormen gelijk is aan n(n-1)(n-2)/6, blijkt hieruit dat men in het ongunstigste geval te maken krijgt met een zoektijd naar de omhullende die evenredig is met n(n-1)(n-2)(n-3) en dus grofweg evenredig met de vierde macht van het aantal opgemeten punten.

HET OMHULLENDE VEELVLAK; BESTAANBAARHEID EN EENDUIDIGHEID

In dit hoofdstuk wordt wat meer specifiek ingegaan op de omhullende van een willekeurig stel punten.

Als zo'n omhullende bestaat, is hij eenduidig. Immers, zouden er meer omhullenden bestaan bij 't zelfde stel punten, dan waren er zeker twee die elkaar wederzijds zouden omvatten, wat onmogelijk is.

De bestaanbaarheid van de omhullende kan worden aangetoond volgens het eerder gebruikte inductie-principe: men geeft een bewijs voor n+1 punten uitgaande van de veronderstelde juistheid bij n punten.

Stel dus dat de omhullende voor een willekeurig n-tal punten reeds bekend is. Een willekeurig ander punt P wordt nu toegevoegd.

Als P binnen of op de gegeven omhullende ligt, is deze omhullende tevens de omhullende van de n+1 punten inclusief P. Met die opmerking is het bewijs geleverd.

Nu het geval dat P buiten de oorspronkelijke omhullende gelegen is. In die situatie creeren we een fysisch analoge situatie door P op te vatten als een puntvormige lichtbron en de gegeven omhullende als 'n massief lichaam begrensd door driehoekige platte vlakken. Binnen dit lichaam kunnen zich een of meer van de oorspronkelijke punten bevinden. Het lichaam is convex en heeft een verlichte kant en een schaduwzijde, die gescheiden worden door ribben aaneensluitend in een aantal gegeven punten. Beschouw nu het stel punten bestaande uit de scheidingspunten van licht en schaduw, de schaduwpunten en P. Verbind P door middel van rechte lijnstukken met de scheidingspunten. Het lichaam omsloten door de aldus gevormde driehoekige vlakken en de daarop aansluitende schaduwzijde van het oorspronkelijke lichaam is de omhullende van alle n+1 punten op grond van fysische overwegingen.

Als n = 4 heeft men te maken met een viervlak, een convexe figuur, die tevens de omhullende is van de punten. Volgens het principe van de inductie heeft dus elk stel van vier of meer punten in de ruimte juist een omhullende.

EEN INTERPRETATIE VAN DE BINNENPUNTEN

Elk stel punten heeft een omhullende, de binnen deze omhullende gelegen punten van dit stel eveneens. Zo doorgaand komt men tot een of meer binnen elkaar gelegen omhullenden, het gegeven stel punten wordt als het ware 'afgeschild'. Karakteriseren de gegeven punten een convexe bak, dan is er slechts een schil, de buitenste. Het aantreffen van meer schillen duidt dus op fouten bij 't opmeten van de coordinaten of op het voorkomen van een of meer deuken in de bak. Om die reden worden de binnenpunten door het computerprogramma opgespoord en vermeld.

In het geval van een convexe bak lijkt het uit theoretisch oogpunt aantrekkelijk, het optreden van opeenvolgend diepere schillen in verband te brengen met mogelijk steeds ernstiger meetfouten. De ervaringen tot nu echter, wijzen er op dat kan worden gewerkt met niet meer dan enkele tientallen punten bij het schatten van bak-inhouden. Daarom lijkt het onderscheiden van binnenschillen vooralsnog weinig relevant. Dit onderscheid wordt danook in de huidige versie van het computerprogramma niet gemaakt.

ENKELE FORMULERINGEN UIT DE ANALYTISCHE MEETKUNDE

Bij 't vaststellen of een drietal punten een zijvlak van de omhullende bepaalt, is het nodig na te gaan of alle overige punten aan een kant van het platte vlak liggen dat door de drie punten gaat.
Daartoe maken we gebruik van het feit dat de punten (X,Y,Z) die in een plat vlak liggen, volgens de analytische meetkunde voldoen aan een lineaire vergelijking, die kenmerkend is voor dat vlak.
Definieert men

$$F(x,y,z) = ax - by + cz - d,$$

waarin a, b, c en d constanten aanduiden, dan liggen de punten (X,Y,Z) die voldoen aan $F(x,y,z) = 0$ in het zelfde vlak. De punten waarvoor $F(x,y,z) > 0$, liggen alle aan een zijde van het vlak, de punten gekenmerkt door $F(x,y,z) < 0$, liggen aan de andere kant. Een vlak wordt gekenmerkt door de onderlinge verhouding van de constanten a, b, c en d.

Elk drietal punten P_1, P_2, P_3 ligt in een vlak. Het bepalen van de vergelijking van dit vlak komt neer op het berekenen van een viertal coefficienten. In het computer-programma is daarbij gekozen voor een formulering waarin wordt vermeden dat deling door nul plaatsvindt.
Deze formulering luidt:

als

$$u = Y_2 . Z_3 - Y_3 . Z_2$$

$$v = Y_1 . Z_3 - Y_3 . Z_1$$

$$w = Y_1 . Z_2 - Y_2 . Z_1$$

dan is

$$a = u - v - w$$
$$b = X_1 . (Z_2 - Z_3) + X_2 . (Z_3 - Z_1) + X_3 . (Z_1 - Z_2)$$
$$c = X_1 . (Y_2 - Y_3) + X_2 . (Y_3 - Y_1) + X_3 . (Y_1 - Y_2)$$
$$d = X_1 . u - X_2 . v + X . w$$

De totale inhoud van de omhullende wordt berekend als som van de inhouden van de viervlakken met het zwaartepunt als top en de driehoekige grensvlakken als grondvlak. Dat is slechts mogelijk omdat de omhullende convex van vorm is. Aan de analytische meetkunde ontlenen we dat de inhoud van een viervlak met hoekpunten P_1, P_2, P_3 en P_4 gelijk is aan 1/6 deel van de absolute waarde van

$$(X_1 - X_4).\{(Y_2 - Y_4).(Z_3 - Z_4) - (Y_3 - Y_4).(Z_2 - Z_4)\} -$$
$$- (X_2 - X_4).\{(Y_1 - Y_4).(Z_3 - Z_4) - (Y_3 - Y_4).(Z_1 - Z_4)\} +$$
$$+ (X_3 - X_4).\{(Y_1 - Y_4).(Z_2 - Z_4) - (Y_2 - Y_4).(Z_1 - Z_4)\}$$

ERVARINGEN

Gebleken is dat enkele tientallen punten, knik- en kromtepunten, voldoende zijn om de gangbare typen bakken te karakteriseren en nauwkeurige inhouds-schattingen te verkrijgen. Bij die aantallen is 't nodig een computer te gebruiken. Afwijkingen van enkele procenten of nog minder zijn gemakkelijk haalbaar, wat ruim voldoende is bij onderzoek betreffende grondverzet.

Het blijkt dat, wanneer de coordinaten van de opgemeten punten opgeslagen worden in de computer, heel eenvoudig een indruk kan worden verkregen van de precisie van de inhouds-schatting. Het toevoegen van nieuw-opgemeten punten en 't vervolgens uitvoeren van nog een inhoudsberekening is een goed middel daartoe.

De vorm van de bak van een machine voor grondverzet is niet altijd geheel convex. Het is dan wel zo, dat men zich de bak opgebouwd kan denken uit enkele convexe gedeelten. Daarbij bepaalt het computerprogramma CONVIN de inhoud van de omhullende van elk zo'n gedeelte, ter benadering van de inhoud van dat gedeelte. Bij elke deel-berekening beschikt men over de controle dat het aantal binnenpunten gelijk aan nul behoort te zijn (zie het hoofdstuk EEN INTERPRETATIE VAN DE BINNENPUNTEN). Daarom wordt de voorkeur gegeven aan het verdelen in het geval van een niet-convexe bak, boven de techniek van 't berekenen van de inhoud van de totale omhullende gevolgd door het verminderen met de inhouden van convexe indeukingen.

De computer-kosten voor gangbare typen bakken zijn gering (enkele tientallen guldens op z'n hoogst). Pas bij ongeveer 100 of meer punten kunnen de kosten in de honderden guldens gaan belopen.

VOORBEELD VAN EEN INHOUDS-BEREKENING

In de figuur worden twee doorsneden van een dumper weergegeven die symmetrisch is t.o.v. het gekozen XY - vlak. De bak heeft uitsluitend platte zijvlakken. Er zijn dus geen kromtepunten nodig. De helft van de knikpunten is in de figuur vermeld. De coordinaten (mm.) en de nummers van de punten staan in de computer op een file die de zelfde naam draagt als de code van de dumper. Deze informatie volgt na de figuur.

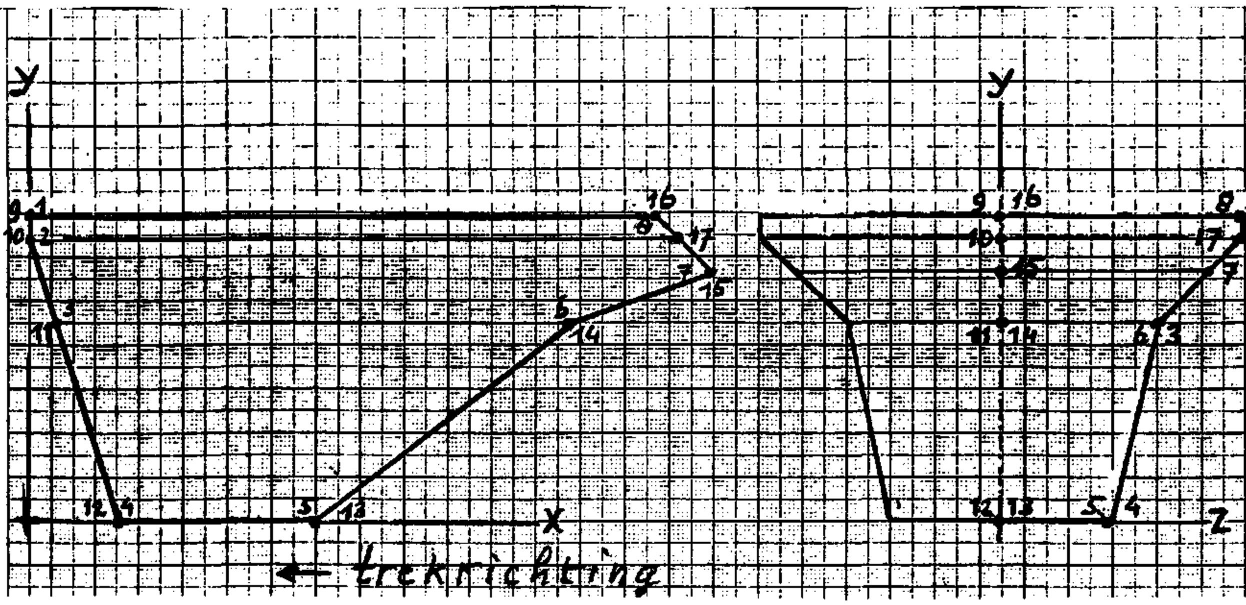

Fig.1. Doorsneden van een getrokken dumper (type 819929 I) waarvan de inhoud wordt berekend m.b.v. het programma CONVIN. Schaal 1:200.

De coordinaten en de nummers van de knikpunten in de figuur zijn:

0 1380 1090 1.
0 1260 1090 2.
112 890 700 3.
380 0 500 4.
1280 0 500 5.
2440 890 700 6.
3100 1120 942 7.
2840 1380 1090 8.
0 1380 0 9.
0 1260 0 10.
112 890 0 11.
380 0 0 12.
1280 0 0 13.
2440 890 0 14.
3100 1120 0 15.
2840 1380 0 16.
2950 1260 1090 17.

De eerste drie getallen op een regel zijn resp. de X-, Y- en Z-coordinaat, daarachter mag een willekeurige administratieve aanduiding worden vermeld. In dit geval krijgt elk knikpunt een nummer.

Het programma wordt geactiveerd door het intikken van de opdracht RUN CONVIN. Nadat men heeft geantwoord op de vraag voor welke punten de berekening wordt gedaan en heeft aangegeven of men de resultaten e-nige wil bewaren op een file, worden resultaten op 't beeldscherm vertoond. Bij gebruik van bovenstaande coordinaten komt er:

```
-----------------------------------------------------------

Welke punten in te voeren?  [type de file-naam] : 810929I
Output op file te bewaren?  [type  JA  of  NEE] : NEE

Inhoud van bak 810929I             = 2613.7 liter
Aantal gegeven punten              =   17
Aantal binnenpunten                =    4

Volgnummers van de binnenpunten :
  3   6   11   14
---------------------------------------- berekening gereed
```

Hier worden binnenpunten aangetroffen, wat er op wijst dat de bak niet convex is. De figuur geeft dit trouwens ook duidelijk aan. In dit geval ligt het voor de hand dat men de bak voor de berekening splitst in twee convexe gedeelten, een onderste en een bovenste, die de punten 3, 6, 11 en 14 gemeenschappelijk hebben. Na splitsing van de bak en verdeling van de gegevens over twee files volgen twee berekeningen:

```
$ RUN CONVIN
------------------------------------------------------------------
Welke punten in te voeren?  [type de file-naam] : 810929IB     <--- 1
Output op file te bewaren?  [type  JA  of  NEE] : NEE

Inhoud van bak 810929IB                  = 1319.2 liter
Aantal gegeven punten                    =   13
Aantal binnenpunten                      =    0
---------------------------------------- berekening gereed

$ RUN CONVIN
------------------------------------------------------------------
Welke punten in te voeren?  [type de file-naam] : 810929IO     <--- 2
Output op file te bewaren?  [type  JA  of  NEE] : NEE

Inhoud van bak 810929IO                  =  883.1 liter
Aantal gegeven punten                    =    8
Aantal binnenpunten                      =    0
---------------------------------------- berekening gereed
```

Hierboven lieten we vanwege de symmetrische vorm van de bak, halve inhouden door de computer berekenen. Op basis van de gegeven coordinaten levert een handberekening een totale bak-inhoud van 2*(1319.2 + 883.1) wat neerkomt op ongeveer 4405 liter.

Meer informatie over het computer-programma treft men aan in het eerste gedeelte van de bijlage die de volledige programma-tekst bevat.

REFERENTIES

WILDE, J.G.S. de, 1981. Dieplepelprodukties bij het graven van waterlopen bepaald met behulp van een nieuw opnamesysteem.
Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
Nota 1315.

B I J L A G E .   Tekst van het VAX-Fortran programma CONVIN

```
!*********************************************************************!
!  Programma CONVIN              (VAX computer)              febr. '83 !
!  W. van Doorne, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding,  !
!                 Postbus 35,  6700 AA Wageningen,  tel. 08370-19100   !
!---------------------------------------------------------------------!
!
!
*---- DOEL van het programma:
!       berekening van de inhoud van het omhullende veelvlak van een
!       willekeurig aantal punten (Xi,Yi,Zi), in het bijzonder voor
!       het bepalen van de bak-inhoud bij machines voor grondverzet.
!
*---- BEPERKINGEN:
!     . het aantal punten mag hoogstens 100 zijn
!     . de coordinaten op te geven in mm., als getallen tussen
!       -10000 en +10000
!
*---- OUTPUT op de terminal:
!     . de inhoud  (liters) van 't omhullende veelvlak
!     . het totaal aantal punten
!     . het aantal binnenpunten (punten binnen de omhullende)
!     . de nummers van de binnenpunten
!
!     OUTPUT op de file INHOUD.BAK (facultatief, zie bij INPUT):
!     . de inhoud  (liters) van 't omhullende veelvlak
!     . het totaal aantal punten
!     . het aantal binnenpunten
!     . een lijst van de gegeven coordinaten (in gehele mm.)
!       met een markering van de binnenpunten;
!     OPM: de inhoud van file INHOUD.BAK brengt men op de terminal met
!          het commando  TYPE INHOUD.BAK
!
*---- INPUT via de terminal:
!     . naam van de file waaruit CONVIN de coordinaten ophaalt
!       (de naam is een reeks van hoogstens 20 letters, cijfers en/of
!        spaties)
!     . 'JA' wanneer men de output wil bewaren op de file INHOUD.BAK,
!       anders 'NEE'
!
*---- het KLAARMAKEN van de GEGEVENS bestaat uit:
!     . het opmeten (in mm.) van de coordinaten van een aantal punten,
!       voldoende om de vorm van de bak te karakteriseren
!     . het aanmaken (m.b.v. een editor) van een file waarin de
!       coordinaten worden opgeslagen:  X,Y,Z in een record
!
*---- het programma roept men aan met de opdracht RUN CONVIN
!
!++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++


      REAL*8  FUNCTION  afwijking (t)          !----------------------------!
      INTEGER*4 t                              ! Hulpfunctie voor het       !
      E = RAN (t)                              ! voortbrengen van uniform   !
      afwijking = .000001*(2.*E- 1.)           ! verdeelde, in absolute maat !
      RETURN                                   ! zeer kleine toevallige     !
      END                                      ! afwijkingen ______________!
```

B I J L A G E (vervolg)

```
      CHARACTER      NAAM*21, BEWAREN*3,          BINNEN
      REAL*8         X(100),  Y(100), Z(100), a,b,c,d, U,V,W, VLAK
      INTEGER*2      TEKEN1,  TEKEN
      INTEGER*4      toeval
      LOGICAL*1      EERSTE,  RANDPUNT(100),   BINNENPUNT(100)
      REAL*4         INHOUD,  INH

      DATA           Xm, Ym, Zm, INHOUD   /4*0./,
     .               RANDPUNT /100*.FALSE./


*========================== . ophalen van de coordinaten uit file;
*                           . omzetten van mm. in dm.;
*                           . tellen van de punten (aantal = N);
*                           . bepalen van 't zwaartepunt M = (Xm,Ym,Zm).

                                            !-----------------------------!
      toeval = SECNDS(0.)                   ! 'toeval' = start-waarde voor !
      toeval = 2 * toeval + 1               ! toevals-trekkingen  m.b.v.   !
                                            ! de functie 'afwijking'______!
      PRINT  101
  101 FORMAT(  ' -----------------------------------------------------------
     .----'   /' Welke punten in te voeren?  [type de file-naam] : '$)
      ACCEPT 102, NAAM (:20)
  102 FORMAT (A20)
      NAAM (21:) = '.'
      PRINT  103
  103 FORMAT ( ' Output op file te bewaren?  [type  JA   of   NEE] : '$)
      ACCEPT 104, BEWAREN
  104 FORMAT (A3)
      OPEN (1, FILE=NAAM, STATUS='OLD')

      DO  I=1,101
      READ (1, *, END=1) U,V,W
      U  = U  * 0.01
      V  = V  * 0.01
      W  = W  * 0.01
      Xm = Xm + U
      Ym = Ym + V
      Zm = Zm + W

      X(I) = U + afwijking (toeval)       !----------------------------!
      Y(I) = V + afwijking (toeval)       ! Elk punt krijgt een kleine !
      Z(I) = W + afwijking (toeval)       ! toevallige afwijking opdat !
      END DO                              ! geen viertal in een zelfde !
                                   ! vlak ligt; dit, om dubbeltelling van !
                                   ! grensvlakken te voorkomen ___________!
    1 N = I - 1
      Xm = Xm/N
      Ym = Ym/N
      Zm = Zm/N
```

B I J L A G E (vervolg)

```
*========================= vormen de punten Pi, PJ en Pk een grensvlak?

      DO 3 I=1,N-2
      DO 3 J=I+1,N-1
      DO 3 K=J+1,N
      EERSTE = .TRUE.

*-------------------- de vergelijking van 't vlak door Pi, PJ en Pk is
*                                          a.X -b.Y +c.Z -d =0

      U = Y(J)*Z(K)-Y(K)*Z(J)
      V = Y(I)*Z(K)-Y(K)*Z(I)
      W = Y(I)*Z(J)-Y(J)*Z(I)
      d = X(I)*U-X(J)*V+X(K)*W
      a =      U-     V+     W
      b = X(I)*(Z(J)-Z(K)) + X(J)*(Z(K)-Z(I)) + X(K)*(Z(I)-Z(J))
      c = X(I)*(Y(J)-Y(K)) + X(J)*(Y(K)-Y(I)) + X(K)*(Y(I)-Y(J))

*------------------------ liggen de overige N-3 punten aan dezelfde kant
*                              van het vlak?  Zo ja, dan is 't een grensvlak.

      DO 2 L=1,N
      IF (L.EQ.I  .OR.  L.EQ.J  .OR. L.EQ.K) GO TO 2
      VLAK  = a*X(L) - b*Y(L) + c*Z(L) - d
      TEKEN = DSIGN (1.D0, VLAK)
      IF (EERSTE) THEN
                  EERSTE = .FALSE.
                  TEKEN1 = TEKEN
      ELSE
                  IF (TEKEN .NE. TEKEN1) GO TO 3
      END IF
    2 END DO

*--------------------------- de inhoud van viervlak (M, Pi,PJ,Pk) = INH

      RANDPUNT (I) =  .TRUE.
      RANDPUNT (J) =  .TRUE.
      RANDPUNT (K) =  .TRUE.
      DET = (X(I)-Xm) * ((Y(J)-Ym)*(Z(K)-Zm) - (Y(K)-Ym)*(Z(J)-Zm))
     .     -(X(J)-Xm) * ((Y(I)-Ym)*(Z(K)-Zm) - (Y(K)-Ym)*(Z(I)-Zm))
     .     +(X(K)-Xm) * ((Y(I)-Ym)*(Z(J)-Zm) - (Y(J)-Ym)*(Z(I)-Zm))
      INH = ABS (DET/6.)
      INHOUD = INHOUD + INH
    3 END DO

*-------------------------- het tellen en markeren van binnenpunten
*                        (aantal in NIN, volgnummers in array BINNENPUNT)
      NIN = 0
      DO I=1,N
         IF (.NOT.RANDPUNT(I)) THEN
           NIN =    NIN  + 1
           BINNENPUNT (NIN) = I
         END IF
      END DO
```

B I J L A G E (vervolg)

```
*-----------------------------------------------------------------------*
!     O U T P U T     . op de terminal (beknopt)                        !
!                     . op file INHOUD.BAK (facultatief, uitgebreider)  !
*-----------------------------------------------------------------------*

      PRINT 105, NAAM, INHOUD, N, NIN
  105 FORMAT (/' Inhoud van bak 'A20           ' ='F7.1' liter'
     .        /' Aantal gegeven punten  '12X' ='I5
     .        /' Aantal binnenpunten    '12X' ='I5)
      IF(BEWAREN .NE. 'JA' .AND. BEWAREN .NE. 'Ja') THEN
        IF (NIN. NE. 0)  PRINT 106, (BINNENPUNT(I), I=1,NIN)
  106   FORMAT (/' Volgnummers van de binnenpunten :'/(10I4))
        STOP'-------------------------------------- berekening gereed'
      ELSE
        OPEN  (2, FILE='INHOUD.BAK', STATUS='NEW')
        WRITE (2,105)  NAAM, INHOUD, N, NIN
        WRITE (2,*)
        WRITE (2,*) '-------- Coordinaten in mm.'
        WRITE (2,*) 'Punt nr.      X      Y      Z '
        WRITE (2,*) '---------------------------'
        DO I=1,N
           IX = 100.*X(I) + DSIGN (.5D0, X(I))
           IY = 100.*Y(I) + DSIGN (.5D0, Y(I))
           IZ = 100.*Z(I) + DSIGN (.5D0, Z(I))
           BINNEN = ' '
           IF (.NOT.RANDPUNT(I)) BINNEN ='*'
           WRITE (2,107) BINNEN, I, IX, IY, IZ
        END DO
  107   FORMAT (1H ,A1,I3, 4X, 3I6)
        WRITE (2, *)                    '---------------------------'
        IF (NIN .NE. 0) WRITE (2, *) '*   markeert binnenpunt'
        STOP'----------------- Uitgebreidere output op file INHOUD.BAK'
      END IF
      END

!.......................................................................!
!     Einde programma CONVIN                                            !
!-----------------------------------------------------------------------!
```