Teil VI: Prozeduren – Feld-Parameter & Typen

1. Offene ARRAY-Parameter
2. Prozedurtypen und -variablen

Offene ARRAY-Parameter

Motivation

Problem : geg.: mehrere deklarierte Felder unterschiedlicher Längen, die als Variablen neuer Datentypen definiert wurden

```
TYPE
  Vektor  =  ARRAY [1..20] OF INTEGER;
  Zahlen  =  ARRAY [0..99] OF INTEGER;
  Nummern =  ARRAY [`A`..`Z`] OF INTEGER;
```

Aufgabe : Implementierung einer Prozedur, die nach einer bestimmten Zahl in Variablen der o.g. Datentypen sucht !

Beobachtung : Wegen der strengen Forderung von Typkompatibilität sind **drei (!)** Prozeduren für die Berechnungen notwendig :

```
PROCEDURE IstInVektor(x        :  Vektor;
                      suchElem :  INTEGER) :  BOOLEAN;
PROCEDURE IstInZahlen(x        :  Zahlen;
                      suchElem :  INTEGER) :  BOOLEAN;
PROCEDURE IstInNummern(x        :  Nummern;
                       suchElem :  INTEGER) :  BOOLEAN;
```

Untersuchung :

Der einzige Unterschied zwischen den Prozeduren besteht in dem Intervall, in dem die Suche stattfindet (~ Länge der Felder)

```
1..20          (IstInVektor)
0..99          (IstInZahlen)
`A`..`Z`       (IstInNummern)
```

Hinweis : Dasselbe Problem würde vorliegen, wenn nur Variablen deklariert worden wären, die als ARRAYs von INTEGER-Elementen, aber unterschiedlicher Länge definiert wären :

```
VAR
  Vektor  :  ARRAY [1..20] OF INTEGER;
  Zahlen  :  ARRAY [0..99] OF INTEGER;
  Nummern :  ARRAY [`A`..`Z`] OF INTEGER;
```

Man kann **nicht** einfach eine Auswerte-Prozedur definieren, bei der ein ARRAY maximaler Länge definiert wird, z.B.

```
PROCEDURE IstInVektor(x        :  ARRAY [0..1000];
                      suchElem :  INTEGER) :  BOOLEAN;
```

Vereinigung der Lösungen mittels offener ARRAY-Parameter

```
PROCEDURE IstInFeld(x        :  ARRAY OF INTEGER;
                    suchElem :  INTEGER) :  BOOLEAN;

VAR
  i :  CARDINAL;

BEGIN
  FOR i := 0 TO HIGH(x) DO
    IF x[i] = suchElem THEN
      RETURN TRUE
    ELSE
      RETURN FALSE
    END
  END
END IstInFeld;
```

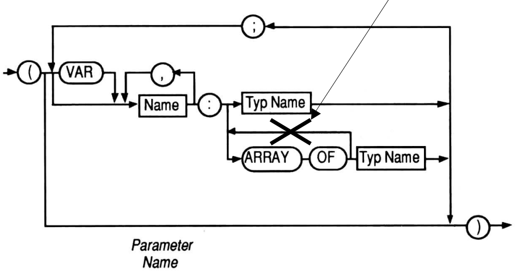
Dimensionen werden „offen“ gelassen

Standard-Prozedur in Modula-2 zur Bestimmung des obersten Elements eines ARRAYs (Ergebnis vom Typ CARDINAL)
Hinweis: für arr : ARRAY [min..max] OF T
liefert HIGH(arr) = ORD(max) – ORD(min)

Syntax

Definition

Mehrdimensionale ARRAYs (s.u.)



Erläuterungen

Formal-Parameter : **`ARRAY OF T`**

Aktueller Parameter : **`ARRAY Index-Typ OF T`** (Index-Typ: beliebig !)

Prozedurinterne Behandlung offener Arrays **`arr`**

untere Indexgrenze : 0

obere Indexgrenze : HIGH(arr) = ORD(max) – ORD(min) (= length(arr) – 1)

Mehrdimensionale offene ARRAYs

→ In verschiedenen Realisierungen (Implementierungen der Sprache) sind **mehrdimensionale** offene ARRAYs möglich !

Für die Bestimmung der Anzahl der Elemente des offenen ARRAYs **`arr`** in den einzelnen Dimensionen 2, 3, etc. wird die Funktion HIGH für **`arr[0]`** , **`arr[0,0]`**, etc. aufgerufen !

(→ siehe Erläuterungen in J. Puchan et al. (1994) Programmieren mit Modula-2. Stuttgart, Teubner)

Hinweis :

In der Ulmer Modula-2 Implementierung sind mehrdimensionale offene ARRAYs nicht erlaubt !

Beispiel

Von einem beliebigen (1-D) Eingabe-Feld wird dessen Länge bestimmt

```
MODULE OffeneArrays;
  FROM InOut IMPORT WriteString, WriteCard, WriteInt, WriteLn;

CONST
  min =  -7;
  max =   2;

TYPE
  FARBE =  (rot, gelb, blau);

VAR
  Feld1D :  ARRAY [1..10] OF CARDINAL;
  Feld2D :  ARRAY [1..5] OF
                  ARRAY [1..3] OF CARDINAL;
  Feld3D :  ARRAY [min..max] OF
                  ARRAY BOOLEAN OF
                        ARRAY FARBE OF REAL;

PROCEDURE ArrayDimensionen1(
  f :  ARRAY OF CARDINAL);

BEGIN
  WriteString("Bestimmung der Dimension des (offenen) 1-D Feldes ...");
  WriteLn;
  WriteInt(HIGH(f) + 1, 5)
END ArrayDimensionen1;

PROCEDURE ArrayDimensionen2(
  f :  ARRAY OF ARRAY [1..3] OF CARDINAL);

BEGIN
  WriteString("Bestimmung der Dimension des (offenen) 2-D Feldes ...");
  WriteLn;
  WriteInt(HIGH(f) + 1, 5)
END ArrayDimensionen2;

(*PROCEDURE ArrayDimensionen3(
  f :  ARRAY [min..max] OF ARRAY BOOLEAN OF ARRAY FARBE OF REAL);

BEGIN
  WriteString("Bestimmung der Dimensionen des (offenen) n-D Feldes ...");
  (*WriteLn;
  WriteInt(HIGH(f), 5);
  WriteInt(HIGH(f[0]), 5);
  WriteInt(HIGH(f[0, 0]), 5)*)
END ArrayDimensionen3;*)


BEGIN
  ArrayDimensionen1(Feld1D);
  WriteLn
END OffeneArrays.
```

2- und 3-dimensionale offene ARRAYs sind in dieser Modula-2 Implementierung nicht erlaubt !

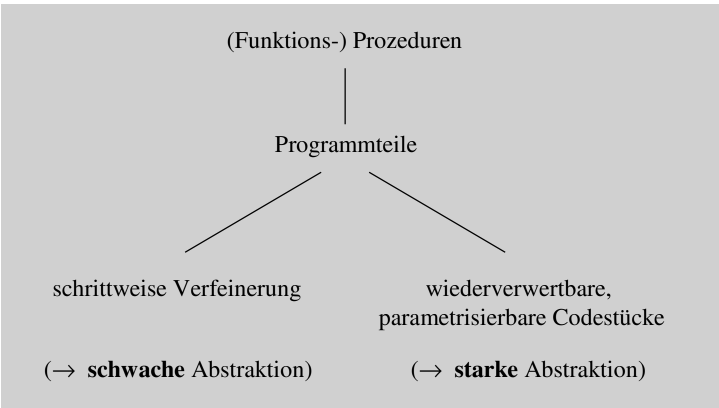
Ergebnis :

```
Bestimmung der Dimension des (offenen) 1-D Feldes ...
    10
```

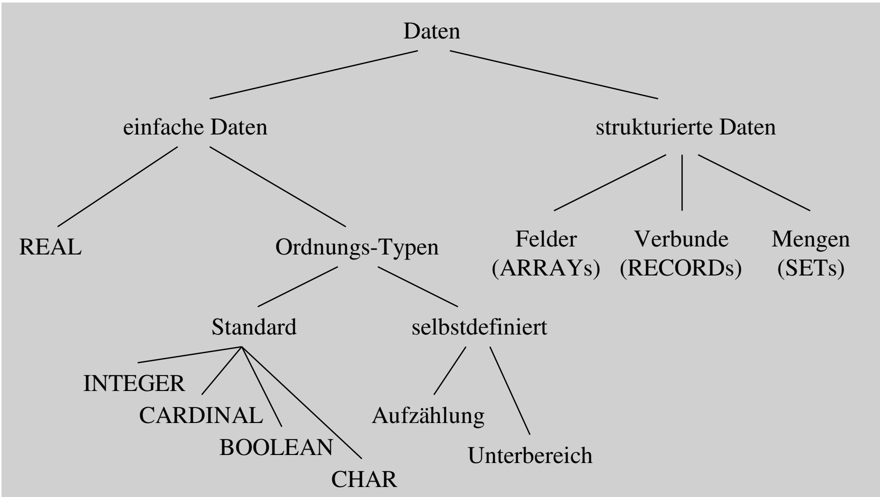
Prozedurtypen und -variablen

Einordnung: Objekte und Abstraktion

Prozeduren für schwache und starke Abstraktion



Daten-Typen



Anwendungsprobleme

Aufgabe 1

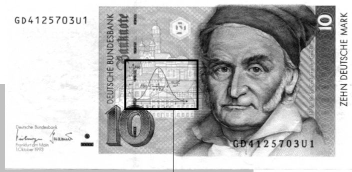
Für **verschiedene Funktionen** $y = f(x)$ sollen Felder (ARRAYs) mit **Funktionswerten für diskrete Argumente** generiert werden

Bsp.: $f_1(x)$: Gauss'sche Normalverteilungs-Fkt.
$f_2(x)$: sin-Fkt.
$f_3(x)$: Produkt aus Gauss-Fkt. und sin-Fkt., $f_3(x) = f_1(x) * f_2(x)$

Naiver Lösungs-Ansatz :

Für jede der Funktionen wird **jeweils eine Prozedur** definiert, die alle das **Feld mit Funktionswerten (Koeffizienten)** mittels eines formalen Variablen-Parameters zurückgeben !

beispielsweise ...




```
  :
CONST
  PI   =    3.14159;
  XMIN =  -20;
  XMAX =   20;

TYPE
  mask = ARRAY [XMIN..XMAX] OF REAL;

PROCEDURE DiscreteGaussian(    mean, std :  REAL;
                           VAR y         :  mask);

VAR
  k        :  INTEGER;
  x, norm  :  REAL;

BEGIN
  norm :=  1.0 / (sqrt(2.0 * PI) * std);
  FOR k := XMIN TO XMAX DO
    x    :=  FLOAT(k) - mean;
    y[k] :=  norm * exp(- x * x / (2.0 * std * std))
  END
END DiscreteGaussian;
  :
```

$$f(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma}\exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

Nachteil :

Für jede (mathematische) Funktion muss eine eigene PROZEDUR geschrieben werden, in deren Rumpf die Werte des Feldes berechnet und zugewiesen werden

→ die Realisierung ist eine **Mischung** aus der **Definition der mathematischen Funktion** und der iterativen Lösung zur **Bestimmung der diskreten Funktionswerte** und ihrer **Zuweisung zu indizierten Feldkomponenten**

Wünschenswert :

Trennung in

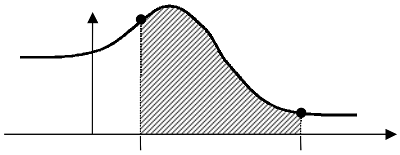
- Definition der mathematischen Funktion und
- „generischer“ Routine, die für jedes Argument der gegebenen Funktion den berechneten Wert zuweist

Aufgabe 2

Für verschiedene Funktionen $y = f(x)$ soll für ein gegebenes Intervall x_{beg} und x_{end} **numerisch die Fläche der Funktion** bestimmt werden

Als **numerische Integrationsverfahren** stehen verschiedene Ansätze zur Verfügung, z.B. Auswertung der

- Simpson-Methode oder
- Romberg-Methode



Lösungs-Ansatz : (→ Aufgabe 1)

Für jedes numerische Verfahren wird eine Prozedur definiert, die die jeweils zu integrierenden Funktion als Eingabe erhält !

Wünschenswert :

Definition einer „generischen" Lösung, die als Eingabe die **Funktion** sowie die **Integrationsmethode** erhält !

Definition von Prozedur-Typen

Weitere Abstraktionsmöglichkeit ...

- Prozeduren sind selbst Objekte (~ Platzhalter mit Wert)
- Zuweisung an Variablen

⇒ Prozedur-Deklaration :
Spezialfall der Konstanten-Deklaration;
Wert der Konstanten ist eine Prozedur !

Deklaration

- Festlegung der **Anzahl** und **Typen** der formalen Parameter
- **Art** der formalen Parameter : Wert- oder Variablen- (Referenz-) Parameter
- bei Funktions-Prozeduren → Rückgabetyp

Beispiele

```
TYPE
  PROC      =  PROCEDURE;
  ProcTyp1  =  PROCEDURE(INTEGER,
                         REAL);
  ProcTyp2  =  PROCEDURE(VAR REAL,
                             CHAR);
  ProcTyp3  =  PROCEDURE(ARRAY OF CHAR);

  FuncTyp1  =  PROCEDURE(CARDINAL,
                         REAL)  :  BOOLEAN;
  FuncTyp2  =  PROCEDURE();
  :
```

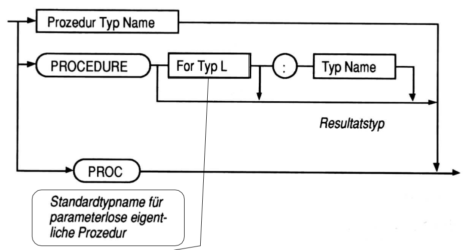
Proz. ohne Parameter

Standardtyp (→ bereits definiert !)

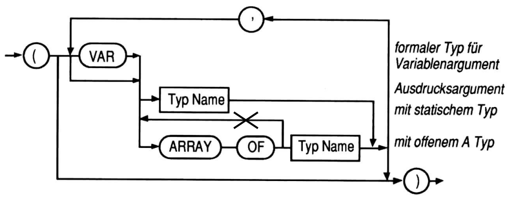
Leere Parameterliste für Funktions-Prozeduren

Syntax

Prozedur-Typ



Formale Typliste (For Typ L)



Besonderheiten

- Zuweisung von Prozeduren zu Prozedur-Variablen
  → **nur** für Prozeduren erlaubt, die **nicht** lokal in anderen Prozeduren deklariert sind
- **Nicht erlaubt :** Zuweisung von Standard-Prozeduren, z.B. exp(), sin(), ...
  (→ siehe Liste der Modula-2 Standard-Prozeduren !)
- **Prozedur-Kompatibilität** zwischen Prozedur-Variable **pv** und Prozedur-Typ **P**
  - **Pv** und **P** haben die gleiche Anzahl formaler Parameter
  - Die formalen Parameter von **pv** und **P** stimmen paarweise überein, d.h.
    der i-te Parameter von **pv** und
    der i-te Parameter von **P**
    sind
    . Vom selben Datentyp
    . Von gleicher Art (beide Werte- oder VAR-Parameter)
  - Bei **Funktions-Prozeduren** müssen die Datentypen der Ergebniswerte identisch sein

Prozeduren als Variable und Komponentenvariable

Variable

→ Deklaration von Variablen eines Typs, der zuvor als Prozedurtyp definiert wurde

Vordefinierter Typ parameterloser Prozeduren

vorher definierter Funktions-Prozedur Typ

Beispiel :

```
  :
TYPE
  FUNC =  PROCEDURE(REAL): REAL;   ← Funktions-Prozedur Typ

PROCEDURE halt;

VAR
  ch :  CHAR;

BEGIN
  WriteString("Eingabe (Abbruch mit `q`) :  ");
  Read(ch);
  IF ch = `q` THEN
    HALT
  END
END halt;
```

```
VAR
  f           :  FUNC;
  abbruch     :  PROC;
  erg1, erg2  :  REAL;

BEGIN
  f       :=  sin;
  abbruch :=  halt;

  erg1 :=  sin(0.2);
  erg2 :=  f(0.2);

  IF erg1 = erg2 THEN
    abbruch ← ~ halt-Prozedur
  END
  :
END ProzVar.
```

Komponentenvariable

Bisher : strukturierte (Daten-) Objekte (z.B. ARRAY, RECORD) waren Kollektionen von Elementen einfacher oder ebenso strukturierter Daten

a) Felder (ARRAY) : Elemente vom selben Typ
b) Verbunde (RECORD) : Elemente unterschiedlicher Typen

Felder von Prozedur-Typen (→ Felder eines zuvor definierten Prozedur-Typs)

Bsp.:

```
TYPE
  OpProc   =  PROCEDURE(REAL);
  RealFunc =  PROCEDURE(REAL): REAL;

VAR
  ProcArr :  ARRAY [0..5] OF RealFunc;
  FuncArr :  ARRAY BOOLEAN OF OpProc;
  :
```

Verbunde mit Prozedur-Komponenten

Beschreibung von Objekten mit Datenattributen und Prozeduren (~ Operationen)

Beispiele – Verwendung von Prozedur-Typen

Beispiel 1 : Prozedur-Typen und Variablen von Funktions-Typen

```
MODULE ProcTypen;
  FROM InOut      IMPORT WriteString, WriteLn;
  FROM RealInOut  IMPORT ReadReal, WriteReal;

CONST
  len =  31;

TYPE
  PrintStrProc =  PROCEDURE(ARRAY OF CHAR);
  RealFunc     =  PROCEDURE(REAL) :  REAL;
  CopyProc     =  PROCEDURE(    ARRAY OF CHAR,
                            VAR ARRAY OF CHAR);

PROCEDURE SquareFunc(
  x :  REAL) :  REAL;

BEGIN
  RETURN (x * x  -  2.0 * x  + 1.0)
END SquareFunc;

PROCEDURE CopyString(
      from :  ARRAY OF CHAR;
  VAR to   :  ARRAY OF CHAR);

VAR
  i :  CARDINAL;

BEGIN
  i := 0;
  WHILE ( from[i] <> 0C ) & ( i <= HIGH(from) ) & ( i <= HIGH(to) ) DO
    to[i] := from[i];
    i     := i + 1
  END;
  IF i <= HIGH(to) THEN
    to[i] := 0C
  END
END CopyString;
```

```
VAR
  string1, string2 :  ARRAY [0..len-1] OF CHAR;
  cp               :  CopyProc;
  ps               :  PrintStrProc;
  f                :  RealFunc;
  ff               :  PROC;
  x                :  REAL;

BEGIN (* -- Hauptprogramm -- *)
  string1 := "Reelle Zahl eingeben :  ";
  cp      := CopyString;
  ps      := WriteString;
  ff      := WriteLn;
  f       := SquareFunc;

  cp(string1, string2);
  ps(string2); ReadReal(x); ff;

  ps("Ergebnis :  x^2 - 2x + 1 = "); WriteReal(f(x), 16); ff
END ProcTypen.
```

Beispiel 3 : Prozedur-Typen, Variablen von Funktions-Typen und generische Funktionen (→ vgl. Aufgabenstellung zur Motivation)

```
MODULE KoeffFelder;
  FROM InOut      IMPORT WriteString, WriteLn;
  FROM RealInOut  IMPORT WriteFloat;
  FROM MathLib    IMPORT exp, sqrt;

CONST
  KMin =  -10;
  KMax =   10;

TYPE
  KERNEL =  ARRAY [KMin..KMax] OF REAL;
  FUNC   =  PROCEDURE(REAL, REAL) :  REAL;
```

```
PROCEDURE box(
  x   :  REAL;
  rad :  REAL) :  REAL;

BEGIN
  IF ABS(x) <= rad THEN
    RETURN 1.0
  ELSE
    RETURN 0.0
  END
END box;
```

```
PROCEDURE gauss(
  x     :  REAL;
  sigma :  REAL) :  REAL;

CONST
  pi =  3.14159;

BEGIN
  IF x <= 3.0 * sigma THEN
    RETURN ( 1.0 / (sqrt(2.0 * pi) * sigma) *
             exp(- x * x / (2.0 * sigma * sigma)) )
  ELSE
    RETURN 0.0
  END
END gauss;
```

$$f(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma}\exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$$

```
PROCEDURE D1gauss(
  x     :  REAL;
  sigma :  REAL) :  REAL;

BEGIN
  RETURN ( - x / (sigma * sigma) * gauss(x, sigma) )
END D1gauss;
```

```
PROCEDURE zeroKernel(
  VAR kern :  ARRAY OF REAL);

VAR
  i :  CARDINAL;

BEGIN
  FOR i := 0 TO HIGH(kern) DO
    kern[i] := 0.0
  END
END zeroKernel;
```

```
PROCEDURE makeKernel(
  VAR kern      :  ARRAY OF REAL;
      min, max  :  INTEGER;
      genFunc   :  FUNC;
      param     :  REAL);

VAR
  i, len :  INTEGER;

BEGIN
  len := HIGH(kern) + 1;
  IF (len < max - min + 1) THEN
    max := len DIV 2;
    min := -max
  END;

  FOR i := min TO max DO
    kern[i - min] := genFunc(FLOAT(i), param)
  END
END makeKernel;
```

```
PROCEDURE PrintKernel(
  kern :  ARRAY OF REAL);

VAR
  i, len :  CARDINAL;

BEGIN
  len := HIGH(kern) + 1;
  FOR i := 0 TO (len - 1) DIV 2 - 1 DO
    WriteFloat(kern[i], 3, 3)
  END;
  WriteString(" |");
  WriteFloat(kern[(len - 1) DIV 2], 3, 3);
  WriteString(" |");
  FOR i := (len - 1) DIV 2 + 1 TO len - 1 DO
    WriteFloat(kern[i], 3, 3)
  END;
  WriteLn
END PrintKernel;
```

```
VAR
  ff                                      :  PROC;
  funcBox, funcGauss, funcD1Gauss         :  FUNC;
  kernelBox, kernelGauss, kernelD1Gauss   :  KERNEL;
  boxRad, sigma                           :  REAL;

BEGIN (* -- Hauptprogramm -- *)
  ff          := WriteLn;
  funcBox     := box;
  funcGauss   := gauss;
  funcD1Gauss := D1gauss;

  zeroKernel(kernelBox);
  zeroKernel(kernelGauss);
  zeroKernel(kernelD1Gauss);

  boxRad :=  5.0;
  sigma  :=  1.5;
  makeKernel(kernelBox, KMin, KMax, funcBox, boxRad);
  makeKernel(kernelGauss, KMin, KMax, funcGauss, sigma);
  makeKernel(kernelD1Gauss, KMin, KMax, funcD1Gauss, sigma);

  WriteString("Koeffizienten in Listen :  "); ff; ff;
  PrintKernel(kernelBox); ff;
  PrintKernel(kernelGauss); ff;
  PrintKernel(kernelD1Gauss); ff
END KoeffFelder.
```

Resultate :

- Box-Funktion (Radius = 5)
- Gauss‘sche Dichtefunktion (Mittelwert = 0, Standardabweichung = 1.5)
- Ableitung 1. Ordnung der Gauss‘schen Dichte

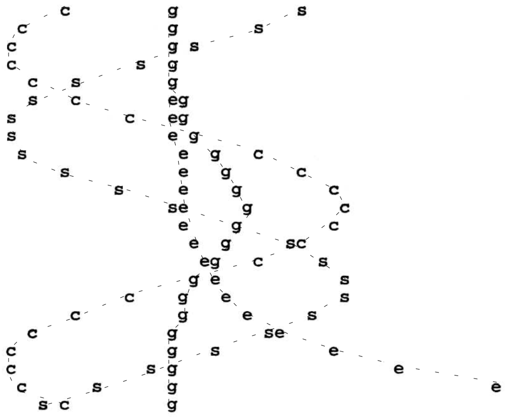
```
Koeffizienten in Listen :

 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 | 1.000 |  1.000  1.000  1.000  1.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.001 0.008 0.036 0.109 0.213 | 0.266 |  0.213  0.109  0.036  0.008 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.002 0.014 0.048 0.097 0.095 | 0.000 | -0.095 -0.097 -0.048 -0.014 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
```

Beispiel 2 : **Prozedur-Typen, Funktionen als Komponentenvariablen und generische Funktionen** (→ vgl. Aufgabenstellung zur Motivation)

```
MODULE FktGraphen;
  FROM InOut     IMPORT WriteInt, Write, WriteString, WriteLn;
  FROM RealInOut IMPORT ReadReal, WriteReal;
  FROM MathLib   IMPORT exp, sin, cos, sqrt;

CONST
  ZeilenLaenge =  60;
  AnzFkt       =   4;

TYPE
  Fkt =  PROCEDURE(REAL) :  REAL;

VAR
  FktFeld      :  ARRAY [0..AnzFkt-1] OF Fkt;
  CharFeld     :  ARRAY [0..AnzFkt-1] OF CHAR;
  ScalingFeld  :  ARRAY [0..AnzFkt-1] OF REAL;
  x1, x2       :  REAL;

PROCEDURE Graphen(
  funcArr :  ARRAY OF Fkt;
  charArr :  ARRAY OF CHAR;
  scalArr :  ARRAY OF REAL;
  x1, x2  :  REAL;
  n       :  CARDINAL);

CONST
  zMAX =  79;

VAR
  dx, fmax, fmin, scale, fx, x :  REAL;
  i, j, nr                     :  CARDINAL;
  zeile                        :  ARRAY [1..zMAX] OF CHAR;

BEGIN
  fmin := 0.0;
  fmax := 0.0;
  dx   := (x2 - x1) / FLOAT(n);

  FOR i := 0 TO n DO
    x := x1 + FLOAT(i) * dx;
    FOR nr := 0 TO HIGH(funcArr) DO
      fx   := funcArr[nr](x) * scalArr[nr];
      IF fx < fmin THEN
        fmin := fx
      END;
      IF fx > fmax THEN
        fmax := fx
      END
    END (* FOR nr *)
  END; (* FOR i *)

  WriteReal(fmin, 12);
  WriteReal(fmax, ZeilenLaenge-1-12); WriteLn;
  scale := FLOAT(ZeilenLaenge-1) / (fmax - fmin);

  FOR i := 0 TO n DO
    FOR j := 1 TO ZeilenLaenge - 1 DO
      zeile[j] := ' '
    END;

    x := x1 + FLOAT(i) * dx;
    FOR nr := 0 TO HIGH(funcArr) DO
      zeile[TRUNC((funcArr[nr](x) * scalArr[nr] - fmin) * scale) + 1] :=
         charArr[nr]
    END;

    FOR j := 1 TO ZeilenLaenge - 1 DO
      Write(zeile[j])
    END;
    WriteLn
  END
END Graphen;

PROCEDURE gauss(
  x :  REAL) :  REAL;

CONST
  pi =  3.14159;

BEGIN
  RETURN ( exp(- x * x / 2.0) / sqrt(2.0 * pi) )
END gauss;

BEGIN (* -- Hauptprogramm -- *)
  WriteString("Abschnitt [x1, x2] eingeben "); WriteLn;
  WriteString(" x1 .. "); ReadReal(x1);
  WriteString(" x2 .. "); ReadReal(x2);

  FktFeld[0] := exp;    CharFeld[0] := 'e';   ScalingFeld[0] := 0.1;
  FktFeld[1] := sin;    CharFeld[1] := 's';   ScalingFeld[1] := 2.0;
  FktFeld[2] := cos;    CharFeld[2] := 'c';   ScalingFeld[2] := 2.0;
  FktFeld[3] := gauss;  CharFeld[3] := 'g';   ScalingFeld[3] := 2.0;

  Graphen(FktFeld, CharFeld, ScalingFeld, x1, x2, 22)
END FktGraphen.
```

Ausgabe von Funktions-Graphen :

```
Abschnitt [x1, x2] eingeben
 x1 ..  x2 .. -1.9865e+000                        5.459815003314424e+000
```



- Zwecks flexibler Berechnung auf Daten-Feldern mit verschiedener Anzahl von Elementen sind **ARRAY-Parameter** mit **offener Länge** möglich – die Element-Typen der formalen und aktuellen Parameter müssen kompatibel sein !
- Ähnlich wie selbstdefinierte Datentypen können **Prozeduren** und **Funktions-Prozeduren** als **neue Typen** definiert werden, von denen auch Variable definiert werden können;
- Variablen dieser Prozedur-Typen können an **Prozeduren als aktuelle Parameter** übergeben werden – formale und aktuelle Parameter müssen auch hier kompatibel sein
- Prozeduren / Funktions-Prozeduren können **Elemente strukturierter Daten**, z.B. Felder oder Verbunde, sein