ADF 2*x* & PRO 2*x* **Übungen zu Fortgeschrittenen Algorithmen & Datenstrukturen und OOP** **SS 17, Übung 1**

Abgabetermin: Mi in der KW 13

☐ **Gr. 1,** Dr. G. Kronberger **Name** Andreas Roither **Aufwand in h** 5 h
☐ **Gr. 2,** Dr. H. Gruber
☒ **Gr. 3,** Dr. D. Auer **Punkte** _____ **Kurzzeichen Tutor / Übungsleiter** _____ / _____

1. Index-Generator (18 Punkte)

Gesucht ist ein Pascal-Programm *IndexGen*, das für einen gegebenen Text (in einer Textdatei) einen *Index* erzeugt. Ein Index ist die lexikographisch sortierte Liste aller Wörter des Texts, wobei für jedes Wort in aufsteigend sortierter Reihenfolge die Nummern all jener Zeilen angegeben ist, in denen das Wort im Text vorkommt. Dabei ist zwischen Groß- und Kleinschreibung nicht zu unterscheiden, alle Wörter können deshalb z. B. in Kleinbuchstaben umgesetzt werden.

Beispiel:

Text:
```
Ach wie gut, dass niemand weiß,
dass ich Rumpelstilzchen heiß.
```

Index (nur auszugweise dargestellt):
```
ach       1
...
dass      1, 2
...
wie       1
```

Ihr Programm muss mit

```
IndexGen  InputFileName.txt
```

aufgerufen werden können (der Name der Textdatei wird also in Form eines Kommandozeilen-Parameters übergeben) und muss den Index auf die Standardausgabe schreiben. Der Index kann dann bei Bedarf mit Hilfe von Ausgabeumleitung auch in eine Datei umgeleitet werden, z. B. mit

```
IndexGen  InputFileName.txt > IndexFileName.txt
```

Verwenden Sie eine Hashtabelle zur Verwaltung der Einträge (= Wort mit seinen Zeilennummern). Vor Ausgabe des Ergebnisses sind die Wörter im Index mit Quicksort zu sortieren. Testen Sie Ihre Lösungen ausführlich, indem Sie für das Fachhochschul-Studiengesetz (in der Datei *FHStG2011.txt* im moodle-Kurs) einen Index generieren und vergleichen Sie Ihre Lösung auch mit jener von KollegInnen um festzustellen, welche effizienter ist. Dazu können Sie das Modul *Timer* (im moodle-Kurs) verwenden. Um längere Laufzeiten zu erhalten, sollten Sie sich auch (wieder einmal?) mit Franz Kafka beschäftigen (siehe *Kafka.txt* moodle-Kurs).

Bemerkungen: Da das Thema Dateibearbeitung noch nicht besprochen wurde, finden Sie im moodle-Kurs in *IndexGen.pas* eine Vorlage für das zu erstellende Programm.

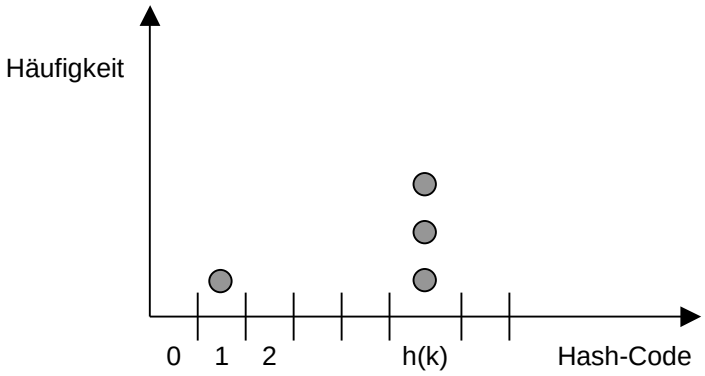
2. Güte von Hash-Funktionen (6 Punkte)

Betrachtet werden Hash-Funktionen *h*, die Wörter (Schlüssel, engl. *keys*) *k* auf *n* positive ganze Zahlen (engl. *hash codes*) *hc* = *h*(*k*) im Bereich von 0 bis *n* - 1 abbilden. Diese Hash-Codes können zum Indizieren von Hash-Tabellen verwendet werden. Die Güte einer Hash-Funktion wird neben ihrer Effizienz (geringer Aufwand zur Berechnung) vor allem dadurch bestimmt, wie gut sie die Schlüsselmenge (den Wertebereich) auf den Bereich der Hash-Codes (den Bildbereich) abbildet. Dabei ist eine Gleichverteilung anzustreben.

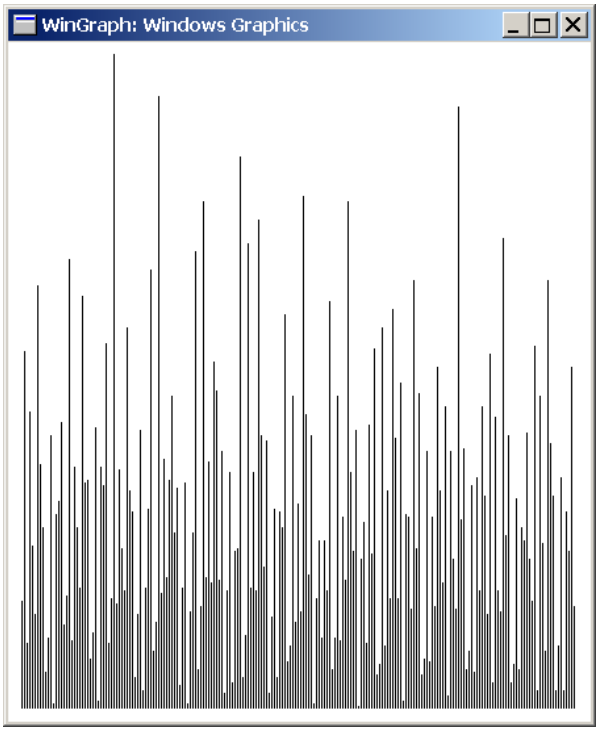
Ende des Wintersemesters wurde ein Pascal-Programm zur einfachen Erstellung von Graphiken unter Windows (*WinGraph.pas* mit dem Testprogramm *WG_Test.pas*) vorgestellt und dazu verwendet, um die Güte von Zufallszahlengeneratoren zu visualisieren (z. B. in Form des Himmelstests). Benutzen Sie dieses System (im moodle-Kurs) nun, um die Güte von *mindestens drei unterschiedlichen* Hash-Funktionen zu visualisieren.

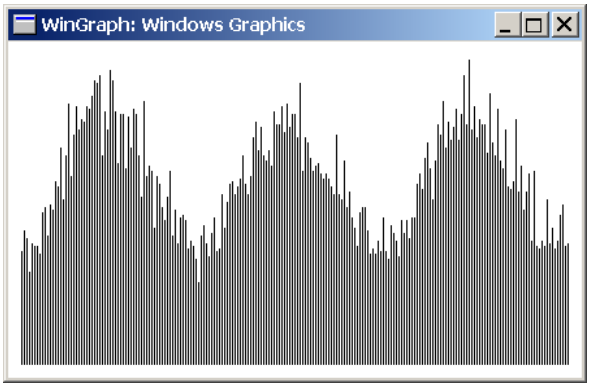
Zu Testzwecken finden Sie in der Datei *KafkaWords.txt* über 10.000 unterschiedliche Wörter (aus „Das Schloss“ von Franz Kafka). Ändern Sie die Prozedur *Redraw*-Prozedur so ab, dass die Wörter aus der Wortdatei gelesen werden, für jedes Wort der Hash-Code mittels einer Hash-Funktion berechnet wird und die Häufigkeit der einzelnen Hash-Codes ermittelt und visualisiert wird.

Dazu werden in einem zweidimensionalen Koordinatensystem horizontal die Hash-Codes von 0 bis n - 1 aufgetragen und vertikal jeweils ein Punkt dargestellt, wenn der entsprechende Hash-Code ermittelt wurde. Folgende Darstellung zeigt einen Zustand, bei dem z. B. der Hash-Code $h(k)$ bereits dreimal ermittelt wurde (es also schon zu zwei Kollisionen gekommen ist):



Die beiden Abbildungen unten zeigen zwei mögliche Ergebnisse für zwei unterschiedliche Hash-Funktionen mit jeweils n = 211 und den Wörtern aus der Datei *KafkaWords.txt*:





Übung 1

Aufgabe 1

Lösungsidee

Die erstellte Hash Tabelle enthält eine Doppelt verkette Liste, in dieser werden die Zeilennummern der Wörter gespeichert. Da die Hash Tabelle selbst nicht durch eine Quicksort Funktion sortiert werden darf, wird nebenbei beim einfügen eines Wortes in die Hash Tabelle, dasselbe Wort in ein String Array eingefügt. Dieses Array wird dann sortiert und der Reihe nach durch gegangen. Dabei wird der Hashcode des Wortes ausgerechnet und an der entsprechenden Stelle im Array wird nach dem Wort gesucht. Zusätzlich werden dann auch die Zeilennummern ausgegeben.

```
(* IndexGen:                                              HDO, 2002-02-28 *)
(* ---------                                                              *)
(* Generation of a sorted index of all words in a text file.              *)
(* Command line:                                                          *)
(*    IndexGen [ textFileName ]                                           *)
(*========================================================================*)
PROGRAM IndexGen;

  USES
  WinCrt, Timer;

  CONST
  EF = CHR(0);          (*end of file character*)
  maxWordLen = 30;      (*max. number of characters per word*)
  chars = ['a' .. 'z', 'ä', 'ö', 'ü', 'ß',
       'A' .. 'Z', 'Ä', 'Ö', 'Ü'];
  size = 30000;

  TYPE
  Word = STRING[maxWordLen];

  doubleListPtr = ^listElement;
  listElement = record
    val : Integer;
    Prev : doubleListPtr;
    Next : doubleListPtr;
  end; (*Record*)

  dList = ^List;
  List = RECORD
    first: doubleListPtr;
    last:  doubleListPtr;
  END; (*Record*)

  NodePtr = ^Node;
    Node = RECORD
    key: STRING;
    data : dList;
    next: NodePtr;
    END; (*Record*)
  ListPtr = NodePtr;
  HashTable = ARRAY[0..size-1] OF ListPtr;
```

```
43
   VAR
45   txt: TEXT;              (*text file*)
     curLine: STRING;        (*current line from file txt*)
47   curCh: CHAR;            (*current character*)
     curLineNr: INTEGER;     (*current line number*)
49   curColNr: INTEGER;      (*current column number*)
     ht : HashTable;
51   wordArray : ARRAY of STRING;
     wordCount : Integer;
53
   (* New has table node *)
55 function NewHashNode(key: String; next: NodePtr; data : dList) : NodePtr;
   var
57   n: NodePtr;
   begin
59   New(n);
     n^.key := key;
61   n^.next := next;
     n^.data := data;
63   NewHashNode := n;
   end; (*NewNode*)
65
   (* New double linked list node *)
67 function NewDLListNode(val : Integer) : doubleListPtr;
   var temp : doubleListPtr;
69 begin
     New(temp);
71   temp^.val := val;
     temp^.prev := Nil;
73   temp^.next := Nil;
     NewDLListNode := temp;
75 end;

77 (* init double linked list*)
   procedure InitDLList(var l : dList);
79 begin
     l^.first := Nil;
81   l^.last := Nil;
   end;
83
   (* append to double linked list *)
85 procedure AppendDlList(var l : dList; val : Integer);
   var n : doubleListPtr;
87 begin

89   if (l^.first = Nil) then
     begin
91     n := NewDLListNode(val);
       l^.first := n;
93     l^.last := n;
     end
95   else
     begin
97     if l^.last^.val <> val then begin
         n := NewDLListNode(val);
99       n^.prev := l^.last;
         l^.last^.next := n;
```

```
101         l^.last := n;
          end;
103     end;
    end;
105
    (* returns the hashcode of a key *)
107 function HashCode4(key: String): Integer;
      var
109   hc, i : Integer;
    begin
111   hc := 0;

113   for i := 1 to Length(key) do begin
      {Q-}
115   {R-}
      hc := 31 * hc + Ord(key[i]);
117   {R+}
      {Q+}
119   end; (* for *)

121   HashCode4 := Abs(hc) MOD size;
    end; (*HashCode4*)
123
    (* Lookup combines search and prepend *)
125 function Lookup(key: String; val : Integer) : NodePtr;
      var
127   i: Integer;
      n: NodePtr;
129   l: dList;
    begin
131   i := HashCode4(key);
      //WriteLn('Hashwert= ', i);
133   n := ht[i];

135   while (n <> Nil) do begin
      if (n^.key = key) THEN BEGIN
137     AppendDlList(n^.data, val);
        exit;
139   end;
      n := n^.next;
141   end;

143   if n = nil then begin
      New(l);
145   InitDLList(l);
      AppendDlList(l, val);
147
      n := NewHashNode(key, ht[i], l);
149   ht[i] := n;

151   if wordCount >= High(wordArray) then
        SetLength(wordArray, (wordCount + 500));
153
      wordArray[wordcount] := key;
155   wordCount := wordCount + 1;
      end; (*if*)
157
      Lookup := n;
```

```
159
    end; (* Lookup *)
161
    FUNCTION LowerCase(ch: CHAR): STRING;
163 BEGIN
      CASE ch OF
165     'A'..'Z': LowerCase := CHR(ORD(ch) + (ORD('a') - ORD('A')));
        'Ä', 'ä': LowerCase := 'ae';
167     'Ö', 'ö': LowerCase := 'oe';
        'Ü', 'ü': LowerCase := 'ue';
169     'ß':      LowerCase := 'ss';
        ELSE (*all the others*)
171         LowerCase := ch;
      END; (*CASE*)
173 END; (*LowerCase*)

175 PROCEDURE GetNextChar; (*updates curChar, ...*)
    BEGIN
177   IF curColNr < Length(curLine) THEN BEGIN
        curColNr := curColNr + 1;
179     curCh := curLine[curColNr]
        END (*THEN*)
181   ELSE BEGIN (*curColNr >= Length(curLine)*)
        IF NOT Eof(txt) THEN BEGIN
183       ReadLn(txt, curLine);
          curLineNr:= curLineNr + 1;
185       curColNr := 0;
          curCh := ' '; (*separate lines by ' '*)
187     END (*THEN*)
        ELSE (*Eof(txt)*)
189     curCh := EF;
      END; (*ELSE*)
191 END; (*GetNextChar*)

193 PROCEDURE GetNextWord(VAR w: Word; VAR lnr: INTEGER);
    BEGIN
195   WHILE (curCh <> EF) AND NOT (curCh IN chars) DO BEGIN
        GetNextChar;
197   END; (*WHILE*)
      lnr := curLineNr;
199   IF curCh <> EF THEN BEGIN
        w := LowerCase(curCh);
201     GetNextChar;
        WHILE (curCh <> EF) AND (curCh IN chars) DO BEGIN
203       w := Concat(w , LowerCase(curCh));
          GetNextChar;
205     END; (*WHILE*)
        END (*THEN*)
207   ELSE (*curCh = EF*)
        w := '';
209 END; (*GetNextWord*)

211 procedure WriteLineNumbers(d : dList);
    var
213 n : doubleListPtr;
    begin
215   if d^.first <> NIL then begin
        n := d^.first;
```

```
217       WHILE (n <> NIL) DO BEGIN
            Write(n^.val, ' ');
219         n := n^.next;
          END;
221     end;
  end;
223
  procedure WriteHashTable;
225 var
  h : Integer;
227 n : NodePtr;
  d : dList;
229 begin
    for h:= 0 to size-1 do begin
231   if ht[h] <> nil then begin
        Write(h, ': ');
233     n := ht[h];

235     while n <> nil do begin
        Write(n^.key, ' ');
237     WriteLineNumbers(n^.data);

239     n := n^.next;
        end; (* while *)
241     WriteLn;
      end; (* if *)
243   end; (* for *)
  end; (* WriteHashTable *)
245
  PROCEDURE Swap(VAR a, b : String);
247 VAR
    temp : String;
249 BEGIN
    temp := b;
251   b := a;
    a := temp;
253 END;

255 FUNCTION LT(a, b : String) : BOOLEAN;
  BEGIN
257   LT := a < b;
  END;
259
  (* quicksort rec for string arrays *)
261 PROCEDURE QuickSort(VAR arr : ARRAY OF String; n : INTEGER);
  PROCEDURE QuickSortRec(VAR arr : ARRAY OF String; l, u : INTEGER);
263 VAR
    p : String;
265   i, j : INTEGER;
  BEGIN
267   IF l < u THEN BEGIN
    (* at least 2 elements *)
269   p := arr[l + (u - l) DIV 2]; (* use first element as pivot *)
    i := l;
271   j := u;
    REPEAT
273   WHILE LT(arr[i], p) DO Inc(i);
      WHILE LT(p, arr[j]) DO Dec(j);
```

```
275
        IF i <= j THEN BEGIN
277     IF i <> j THEN BEGIN
          Swap(arr[i], arr[j]);
279     END;
        Inc(i);
281     Dec(j);
        END;
283   UNTIL i > j;
      IF j > l THEN QuickSortRec(arr, l, j);
285   IF i < u THEN QuickSortRec(arr, i, u);
      END;
287 END;

289 BEGIN
      QuickSortRec(arr, Low(arr), n);
291 END;

293 procedure PrintStringArray();
    var
295   i : Integer;
      n : NodePtr;
297 begin

299   for i := 0 to wordCount do begin
        WriteLn;
301     Write(wordArray[i], ': ',#9);
        n := ht[HashCode4(wordArray[i])];
303
        while (n <> NIL) AND (n^.key <> wordArray[i]) do begin
305       n := n^.next;
        end;
307
        if n <> nil then
309       WriteLineNumbers(n^.data);
      end;
311 end;

313 procedure Init();
    var i : Integer;
315 begin
      SetLength(wordArray,1000);
317
      for i := 0 to size-1 do begin
319     ht[i] := NIL;
      end;
321 end;

323 VAR
      txtName: STRING;
325   w: Word;          (*current word*)
      lnr: INTEGER;     (*line number of current word*)
327   n: LONGINT;       (*number of words*)

329 BEGIN (*IndexGen*)
    Init;
331 Write('IndexGen: index generation for text file ');
```

```
333   IF ParamCount = 0 THEN BEGIN
        WriteLn;
335     WriteLn;
        Write('name of text file > ');
337     ReadLn(txtName);
      END (*THEN*)
339   ELSE BEGIN
        txtName := ParamStr(1);
341     WriteLn(txtName);
      END; (*ELSE*)
343   WriteLn;

345   (*--- read text from text file ---*)
      Assign(txt, txtName);
347   Reset(txt);
      curLine := '';
349   curLineNr := 0;
      curColNr := 1; (*curColNr > Length(curLine) forces reading of first line*)
351   GetNextChar;   (*curCh now holds first character*)
      n := 0;
353   wordCount := 0;

355   StartTimer;
      GetNextWord(w, lnr);
357   WHILE Length(w) > 0 DO BEGIN
        //WriteLn(w, ' ', lnr);
359     Lookup(w,lnr);
        n := n + 1;
361     GetNextWord(w, lnr);
      END; (*WHILE*)
363   QuickSort(wordArray, wordCount);
      PrintStringArray();
365   StopTimer;

367   WriteLn;
      WriteLn('number of words: ', n, ' ', wordCount);
369   WriteLn('elapsed time:    ', ElapsedTime);
      Close(txt);
371
      ReadLn;
373
    END. (*IndexGen*)
```

IndexGen.pas

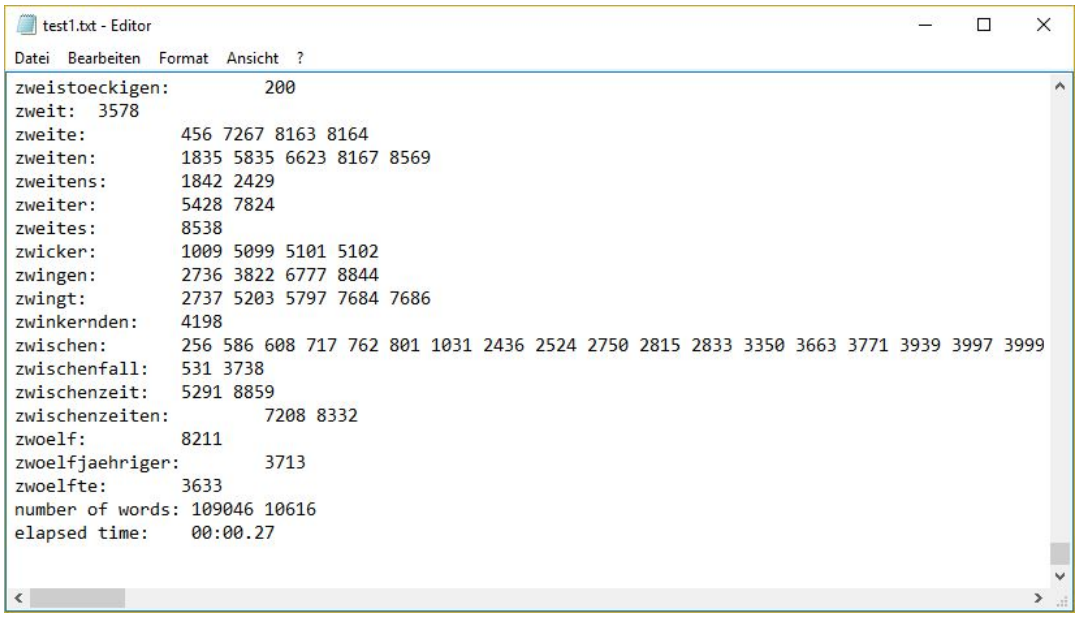


Abbildung 1: Ausgabe

Aufgabe 2

Lösungsidee

Ähnlich wie bei Aufgabe 1 wird eine Hash Tabelle erstellt. Anschließend wird beim zeichnen für jede Position in der Tabelle die Knoten gezählt und gezeichnet. Es werden drei verschiedene Hash Funktionen getestet. Die ungewöhnliche Größe des String Arrays ergibt sich aus dem Testen. Ist die Größe des Arrays durch 3 teilbar, ist die Verteilung in der Tabelle lückenhaft und ähnlich schlecht wie bei der ersten oder zweiten Hash Funktion.

```
2  PROGRAM WG_Hash;

4    USES
     {$IFDEF FPC}
6      Windows,
     {$ELSE}
8      WinTypes, WinProcs,
     {$ENDIF}
10     Strings, WinCrt, WinGraph;

12   CONST
     EF = CHR(0);            (*end of file character*)
14   maxWordLen = 30;        (*max. number of characters per word*)
     chars = ['a' .. 'z', 'ä', 'ö', 'ü', 'ß',
16         'A' .. 'Z', 'Ä', 'Ö', 'Ü'];
     size = 421;
18

     TYPE
20   Word = STRING[maxWordLen];

22   NodePtr = ^Node;
     Node = RECORD
24     key: STRING;
```

```
    next: NodePtr;
26  END; (*Record*)
    ListPtr = NodePtr;
28  HashTable = ARRAY[0..size-1] OF ListPtr;

30  VAR
      txt: TEXT;              (*text file*)
32    curLine: STRING;        (*current line from file txt*)
      curCh: CHAR;            (*current character*)
34    curLineNr: INTEGER;     (*current line number*)
      curColNr: INTEGER;      (*current column number*)
36    ht : HashTable;
      option : Integer;
38
    function NewHashNode(key: String; next: NodePtr) : NodePtr;
40  var
      n: NodePtr;
42  begin
      New(n);
44    n^.key := key;
      n^.next := next;
46    NewHashNode := n;
    end; (*NewNode*)
48
    (* returns the hashcode of a key *)
50  function HashCode1(key: String): Integer;
    begin
52    HashCode1 := Ord(key[1]) MOD size;
    end; (*HashCode1*)
54
    (* compiler hashcode.. *)
56  function HashCode2(key: String): Integer;
    begin
58    if Length(key) = 1 then
      HashCode2 := (Ord(key[1]) * 7 + 1) * 17 MOD size
60    else
      HashCode2 := (Ord(key[1]) * 7 + Ord(key[2]) + Length(key)) * 17 MOD size
62  end; (*HashCode2)

64  (* returns the hashcode of a key *)
    function HashCode3(key: String): Integer;
66    var
      hc, i : Integer;
68  begin
      hc := 0;
70
      for i := 1 to Length(key) do begin
72    {Q-}
      {R-}
74    hc := 31 * hc + Ord(key[i]);
      {R+}
76    {Q+}
      end; (* for *)
78
      HashCode3 := Abs(hc) MOD size;
80  end; (*HashCode3*)

82  (* Lookup combines search and prepend *)
```

```
  procedure Lookup(key: String);
84  var
    i: Integer;
86  n: NodePtr;
  begin
88  IF option = 1 THEN i := HashCode1(key)
    ELSE IF option = 2 THEN i := HashCode2(key)
90  ELSE IF option = 3 THEN i := HashCode3(key)
    ELSE BEGIN
92    WriteLn('Invalid option');
      Halt;
94  END;
    n := ht[i];
96
    while (n <> Nil) do begin
98    if (n^.key = key) THEN BEGIN
        exit;
100   end;
      n := n^.next;
102 end;

104 n := NewHashNode(key, ht[i]);
    ht[i] := n;
106 end; (* Lookup *)

108 FUNCTION LowerCase(ch: CHAR): STRING;
  BEGIN
110 CASE ch OF
      'A'..'Z': LowerCase := CHR(ORD(ch) + (ORD('a') - ORD('A')));
112   'Ä', 'ä': LowerCase := 'ae';
      'Ö', 'ö': LowerCase := 'oe';
114   'Ü', 'ü': LowerCase := 'ue';
      'ß':      LowerCase := 'ss';
116   ELSE (*all the others*)
          LowerCase := ch;
118   END; (*CASE*)
  END; (*LowerCase*)
120
  PROCEDURE GetNextChar; (*updates curChar, ...*)
122 BEGIN
    IF curColNr < Length(curLine) THEN BEGIN
124   curColNr := curColNr + 1;
      curCh := curLine[curColNr]
126   END (*THEN*)
    ELSE BEGIN (*curColNr >= Length(curLine)*)
128   IF NOT Eof(txt) THEN BEGIN
        ReadLn(txt, curLine);
130     curLineNr:= curLineNr + 1;
        curColNr := 0;
132     curCh := ' '; (*separate lines by ' '*)
      END (*THEN*)
134   ELSE (*Eof(txt)*)
      curCh := EF;
136 END; (*ELSE*)
  END; (*GetNextChar*)
138
  PROCEDURE GetNextWord(VAR w: Word; VAR lnr: INTEGER);
140 BEGIN
```

```
    WHILE (curCh <> EF) AND NOT (curCh IN chars) DO BEGIN
142   GetNextChar;
    END; (*WHILE*)
144 lnr := curLineNr;
    IF curCh <> EF THEN BEGIN
146   w := LowerCase(curCh);
      GetNextChar;
148   WHILE (curCh <> EF) AND (curCh IN chars) DO BEGIN
        w := Concat(w , LowerCase(curCh));
150     GetNextChar;
      END; (*WHILE*)
152   END (*THEN*)
    ELSE (*curCh = EF*)
154   w := '';
  END; (*GetNextWord*)
156
  (* Counts nodes *)
158 FUNCTION CountNodes(n : ListPtr) : INTEGER;
  VAR
160   count : INTEGER;
  BEGIN
162   count := 0;
    WHILE n <> NIL DO BEGIN
164   Inc(count);
      n := n^.next;
166 END;
    CountNodes := count;
168 END;

170 (* Draw function with eclipse *)
  PROCEDURE Draw(table : HashTable; dc : HDC; r : TRect);
172   VAR i, j : INTEGER;
        stepX : REAL;
174     w, h : INTEGER;
        maxVal, count : INTEGER;
176     x, y : REAL;
        hFactor : REAL;
178
    BEGIN
180   w := r.right - r.left;
      h := r.bottom - r.top;
182   count := 1;
      maxVal := count;
184
      FOR i := Low(table) TO High(table) DO BEGIN
186     count := CountNodes(table[i]);
        IF maxVal < count THEN BEGIN
188       maxVal := count;
        END;
190   END;
      IF maxVal = 0 THEN BEGIN
192     maxVal := 1;
      END;
194
      stepX := w / (High(table) - Low(table) + 1);
196   hFactor := (h / stepX) / maxVal;
      x := r.left;
198   count := 0;
```

```
200       FOR i := Low(table) TO High(table) DO BEGIN
            count := CountNodes(table[i]);
202         y := r.bottom;
            FOR j := 1 TO Round(hFactor * count) DO BEGIN
204           Ellipse(dc, Round(x), Round(y + stepX), Round(x + stepX), Round(y));
              y := y - stepX;
206         END;
            x := x + stepX;
208       END;
      END;
210
  (* Function to call the actual drawing function *)
212 PROCEDURE DrawHash(dc: HDC; wnd: HWnd; r: TRect);
    BEGIN
214   Draw(ht, dc, r);
    END;
216
  PROCEDURE Init;
218 VAR
      i : INTEGER;
220 BEGIN
    FOR i := 0 TO size - 1 DO BEGIN
222   ht[i] := NIL;
    END;
224 END;
VAR
226 txtName: STRING;
  w: Word;          (*current word*)
228 lnr: INTEGER;    (*line number of current word*)
  n: LONGINT;       (*number of words*)
230
BEGIN
232 option := 1;
  n := 0;
234 Init();

236 IF ParamCount = 0 THEN BEGIN
    WriteLn;
238 WriteLn;
    Write('name of text file > ');
240 ReadLn(txtName);
  END ELSE BEGIN
242 txtName := ParamStr(1);
    WriteLn(txtName);
244 END;
  WriteLn;
246
  WriteLn('Choose HashFunction: ');
248 WriteLn('1. func (bad)');
  WriteLn('2. func (better)');
250 WriteLn('3. func (best)');
  Write('> ');
252 ReadLn(option);

254 Assign(txt, txtName);
  Reset(txt);
256 curLine := '';
```

```
  curLineNr := 0;
  curColNr := 1;
  GetNextChar;

  GetNextWord(w, lnr);
  WHILE Length(w) > 0 DO BEGIN
    LookUp(w);
    n := n + 1;
    GetNextWord(w, lnr);
  END;

  redrawProc := DrawHash;
  WGMain;

  WriteLn;
  WriteLn('number of words: ', n);

  Close(txt);
END.
```

WG_Hash.pas

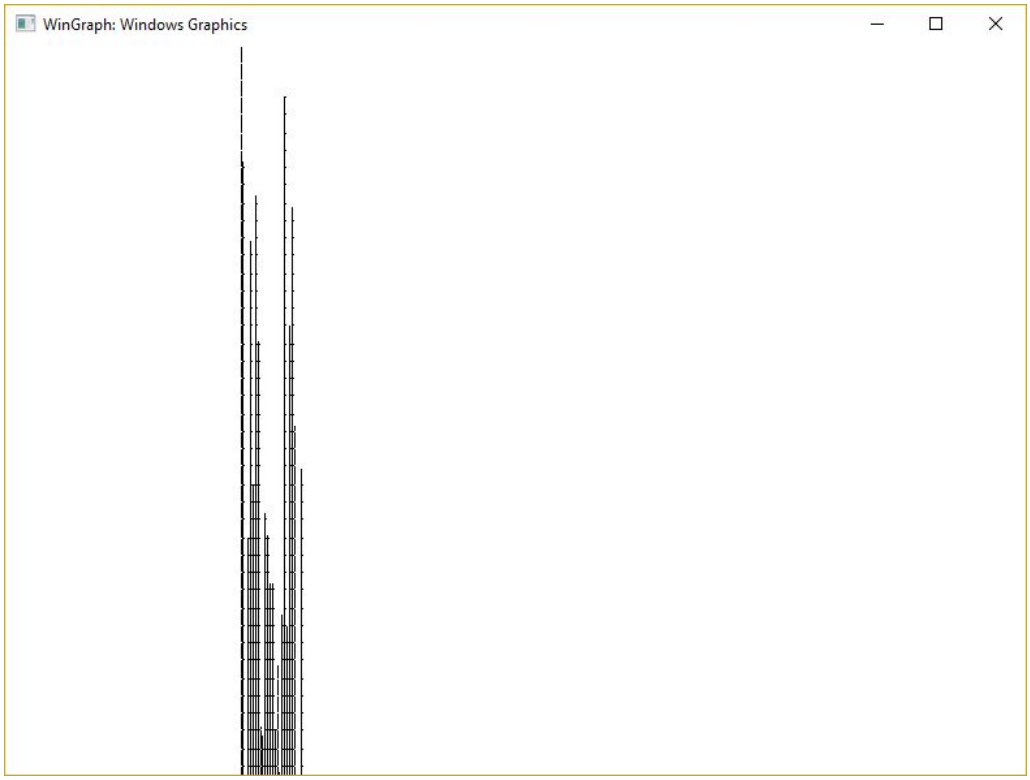


Abbildung 2: Ausgabe

Hier sieht man deutlich das die Verteilung der Elemente in der Tabelle sehr schlecht ist, die Verteilung der Elemente ist sehr nahe beieinander.

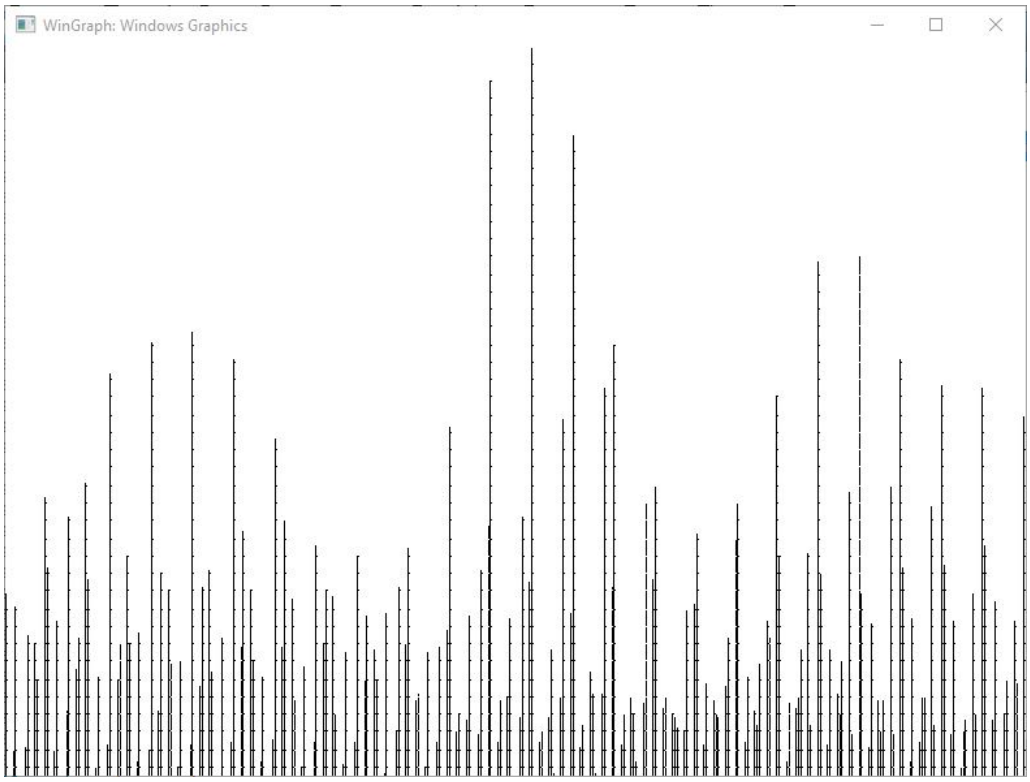


Abbildung 3: Ausgabe

Im Gegensatz zur vorherigen Hash Funktion sieht hier die Verteilung etwas besser aus.

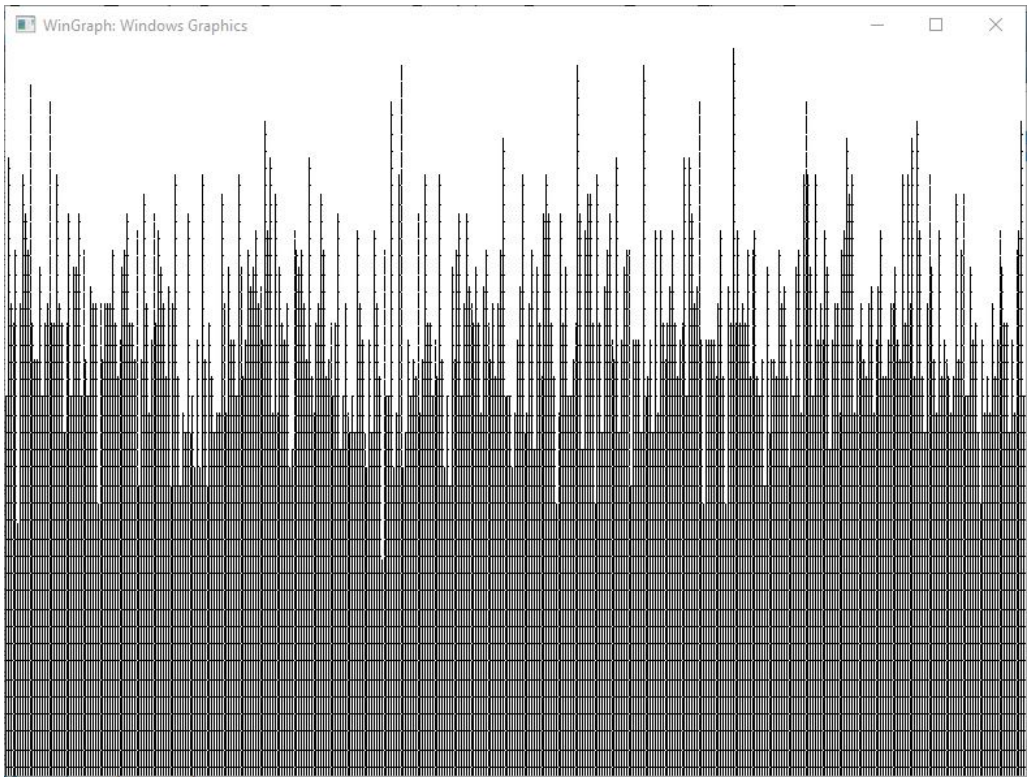


Abbildung 4: Ausgabe

Mit der dritten Hash Funktion sieht man eine bessere Verteilung in der Hash Tabelle.