AUF DER HEFT-CD

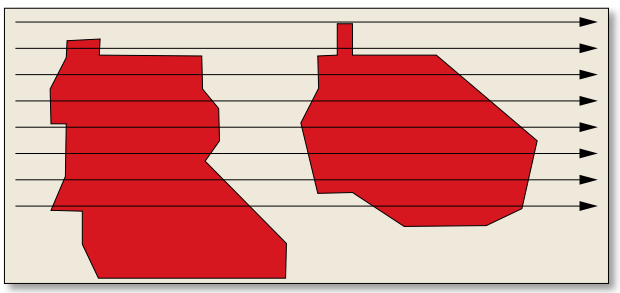
Effiziente Datenkompression in C

Digitaler Schraubstock

Viele Informationen in wenig Daten unterbringen, so lautet die Devise beim **Übertragen und Speichern**. Wir machen Sie mit speziellen Komprimierverfahren und Pack-Algorithmen vertraut.

CARSTEN DACHSBACHER

Um Multimedia-Daten in ein handliches Format zu bringen, müssen sie effektiv komprimiert sein. Auch Text- und Grafikdateien können Sie um ein Vielfaches schrumpfen. In dieser und den folgenden Ausgaben lernen Sie Pack-Algorithmen und die theoretischen Grundlagen dazu kennen (vgl. die Textbox „Am Anfang war das Bit“ auf S. 254).



BEIM ABTASTEN großer Flächen gleicher Farbe interessiert bei der RLE-Kompression nur deren Beginn und Länge.

RLE-Kompression

Die Lauflängencodierung (Run Length Encoding, RLE) ist ein intuitives Verfahren. Tritt ein Zeichen *Z* mehrmals in Folge in der Eingabe auf, schreiben Sie in der Ausgabe nur ein einzelnes Zeichen. Damit Sie wissen, wie oft dieses Zeichen an dieser Stelle vorkommt, stellen Sie die Anzahl *n* voran. Der Wert *n* heißt auch die Run Length des Zeichens *Z* an dieser Stelle. Als Beispiel behandeln Sie in einem Buchtext die Kapitelüberschrift

```
2. Datenkompression
```

mit der RLE-Methode. Es gibt drei Möglichkeiten:

• Wenn Sie die doppelte Buchstabenfolge *ss* durch *2s* ersetzen, können Sie das zur Kompression eingesetzte Zahlzeichen *2* nicht von der Kapitelnumerierung unterscheiden und den Originaltext nicht eindeutig wiederherstellen. Verwenden Sie daher ein nicht benötigtes Zeichen wie @ als Escape-Code. Sein Auftreten im komprimierten Text signalisiert, dass eine Längenangabe folgt:

```
2. Datenkompre@2sion
```

In unserem Beispiel wird der Originaltext ein Byte länger. Es lassen sich aber Beispiele konstruieren, bei denen eine Schrumpfung auftritt.

• Anstatt des Escape-Codes können Sie vor jedem Zeichen dessen Run Length vermerken:

```
121.1
1D1a1t1e1n1k1o1m1p1r1e2s1i1o1n
```

Dieser Ansatz lohnt sich jedoch nur bei längeren Zeichenketten, die größere Blöcke gleicher Zeichen enthalten.

• Die eleganteste Methode: Legen Sie eine minimale Anzahl von Wiederholungen fest, ab der Sie ein Zeichen ersetzen. Im folgenden Beispiel beträgt der Minimalwert drei Zeichen: Nur wenn das gleiche Zeichen dreimal oder öfter in Folge auftritt, vermerken Sie nach dem dritten Zeichen, wie oft es noch wiederholt werden soll. So arbeitet auch der Algorithmus im Listing *rle.cpp*:

```
abba        ->    abba
abbbbbba    ->    abbb3a
abbba       ->    abbb0a
```

Das PCX-Dateiformat verdichtet Schwarzweiß-Grafiken und Bilder mit einer Palette mit dem RLE-Verfahren. Benachbarte Pixel gleicher Farbe wie im Bild links unten werden so platzsparend zusammengefaßt.

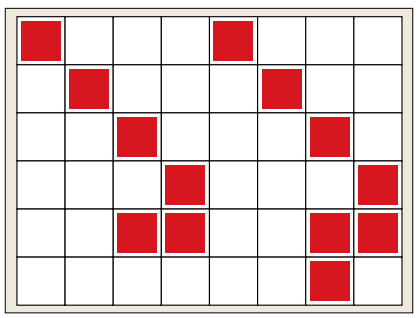
Der Grad der Kompression hängt vor allem bei Strichzeichnungen wie in der Abbildung unten stark von der Reihenfolge der Abtastung ab. Neben einem horizontalen Durchlauf der Pixel (zeilenweise Abtastung) können Sie die Pixel auch vertikal (spaltenweise) oder im Zickzack-Muster abarbeiten (siehe Abbildung auf S. 254. Sie können die Zeilen bzw. Spalten in beliebig vertauschter Reihenfolge behandeln.

LZW-Kompression

Das komplexe LZW-Verfahren (benannt nach den Initialien seiner Erfinder) führt zu deutlich besseren Ergebnissen als die Lauflängenkodierung. Dem Verfahren liegt der von Lempel und Ziv erfundene LZ78-Algorithmus zugrunde, an dem Welch einige Modifikationen und Optimierungen vorgenommen hat.

Unter anderem der Dateipacker *gzip* aus der Unix-Welt sowie verschiedene Bildformate wie Graphics Interchange Format (GIF) und Tagged Image File Format (TIFF) verwenden das LZW-Verfahren. Inzwischen hat die Firma Unisys das Patentrecht an diesem Algorithmus: Eine kommerzielle Nutzung ist nur mit ihrer Erlaubnis gestattet.

Die Kompression beruht auf einem Dictionary (Wörterbuch). Dieses baut der Algorithmus während des Komprimiervorgangs selbständig auf. Um später wieder an die Originaldaten heranzukommen, brauchen Sie dieses Dictionary nicht mit zu speichern.



DIE PIXEL schräger Linienzüge kann das RLE-Verfahren bei zeilen- oder spaltenweiser Abtastung nicht zusammenfassen.

Das Wörterbuch besteht aus einer Liste von Strings unterschiedlicher Länge. Es umfaßt zu Beginn des Kompressionsvorgangs in den ersten 256 Einträgen (0 bis 255) alle ASCII-Zeichen, also nur ein Zeichen lange Strings.

Der Encoder liest ein Zeichen nach dem anderen ein und reiht sie in einem String aneinander. Dann durchsucht er das Wörterbuch nach dieser Zeichenkette. Findet er sie nicht, bricht er diesen Prozess ab. Wenn der bisherige String *I* noch im Wörterbuch verzeichnet ist, lässt das nächste Zeichen *z* die Zeichenkette auf *Iz* wachsen.

Besitzt diese keinen Eintrag im Dictionary, führt der Encoder folgende Schritte durch:

- Er schreibt den Index des Strings *I* im Wörterbuch in die Ausgabe.
- Er fügt den String *Iz* dem Wörterbuch hinzu.
- Er überschreibt den bisherigen String *I* mit dem Zeichen *z*.

Anhand des Eingabetextes

```
sir_sid_eastman_easily_teases_sea
_sick_seals
```

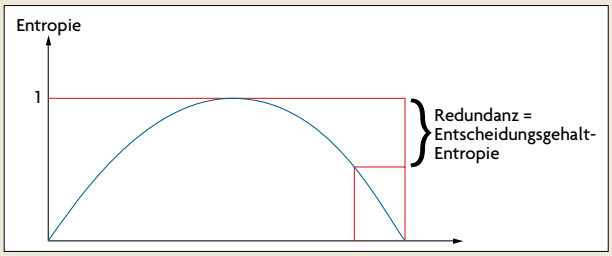
können Sie sich die Vorgehensweise veranschaulichen: Zunächst initialisieren Sie das Wörterbuich wie oben beschrieben mit den ASCII-Zeichen und belegen den String *I* mit einer leeren Zeichenkette. Dann liest der Encoder das Zeichen *s*, welches sich als Einzelzeichen im Wörterbuch befindet. Das nächste Zeichen lautet *i*, der String *si* besitzt allerdings keinen

AM ANFANG WAR DAS BIT

Informatiker messen den Informationsgehalt einer Nachricht in Bit. Das entspricht der Informationsmenge, die eine Antwort auf eine Ja-/Nein-Frage enthält. Die Antwort „ja“ könnte man durch den Wert 1, die Antwort „nein“ durch eine 0 darstellen.

Eine der wichtigsten Fragen der Informationstheorie ist, wie viele Entscheidungen – oder binäre Fragestellungen – notwendig sind, um eine Information aus einer Vielzahl von Nachrichten auszuwählen. Eine elementare Entscheidung besteht dabei natürlich aus einem Bit.

Kann die Informationsquelle *n* Informationen liefern, sind mindestens $\lceil ld(n) \rceil$ (also das Ergebnis der Logarithmus-Funktion auf die nächsthöhere ganze Zahl aufgerundet) elementare Entscheidungen notwendig. Der durch *ld* abgekürzte Logrithmus dualis ist dabei der Logarithmus zur Basis 2. Daraus folgt, dass Sie mit $\lceil ld(n) \rceil$ Bits eine spezielle Information aus einer Menge von n verschiedenen Informationen identifizieren können.



DIE REDUNDANZ ist der Anteil einer Nachricht, der keine weiteren Informationen enthält.

Diese Größe ist der **Entscheidungsgehalt** H0 dieser Informationsmenge:

```
H0(n) = ld(n)
```

Der Gehalt einer Information ist umso größer, je weniger man sie erwartet beziehungsweise je seltener sie eintrifft. Stellen Sie sich vor, eine Informationsquelle liefert nur Nullen und Einsen. Falls fast immer eine 0, aber nur selten eine 1 vorkommt, ist das Auftreten der 1 für Sie weitaus interessanter als das Auftreten der 0.

Wenn nun P(N) die Wahrscheinlichkeit ist, dass die Information N eintrifft, dann ist

```
I(N) = -ld(P(N))
```

als Ihr **Informationsgehalt** definiert. Diese Festlegung ist vernünftig:

1. I(N) ist umso kleiner, je größer P(N) ist, also je öfter die Information N auftritt.
2. Wenn das Eintreffen zweier Informationen N1 und N2 statistisch gesehen unabhängig ist, dann addiert sich Ihr Informationsgehalt:

```
I( N1 und N2 ) =
= -ld( P( N1 und N2 ) ) =
= -ld( P(N1) * P(N2) ) =
= -( ld(P(N1))+ld(P(n2)) ) =
= I(N1)+I(N2)
```

Wir können also eine Nachricht mit [ld(n)] Bits kodieren, wenn insgesamt n Nachrichten möglich sind. Dürfen die Bitfolgen, mit denen die Informationen kodiert werden, verschieden lang sein, können Sie eine Reihe von Informationen im Mittel mit weniger Bits kodieren. Das kommt dadurch zustande, daß Sie häufige Nachrichten einfach mit weniger Bits kodieren als selten auftretende.

Ein sehr bekanntes Beispiel, das dieser Methode folgt, ist der Morsecode: Im Morse-Alphabet – die Informationen sind hier die Buchstaben – ist der Morsecode für das sehr häufig vorkommende „e“ ein Punkt. Der Code für das seltenere „y“ besteht hingegen aus vier Zeichen.

Ein weiterer wichtiger Begriff in der Informationstheorie ist der mittlere Informationsgehalt oder die **Entropie**. Treten n Nachrichten mit den einzelnen Wahrscheinlichkeiten p(i), i = 1, ..., n auf, dann ist die Entropie einer Informationsquelle Q

```
HQ = ∑ I(Ni)*p(i) =
= ∑ ld(1/p(i))*p(i) =
= ∑ ld(p(i))*p(i)
```

Bei dieser Formel ist vorausgesetzt, dass die Informationsquelle auch eine Information liefert. Dazu muß die Summe aller Auftrittswahrscheinlichkeiten 1 sein:

```
p(1)+p(2)+...+p(n) = 1
```

Die Entropie ist maximal, wenn alle eintreffenden Informationen gleich wahrscheinlich sind, wenn also die größte Unsicherheit darüber besteht, welche Information der Quelle wir erhalten werden.

Als kleines Beispiel zu diesem eher etwas trockenen Theorieteil wollen wir Folgendes betrachten: Ihre Informationsquelle liefert Ihnen die Buchstaben a, b, c und d mit den Wahrscheinlichkeiten 1/2, 1/4, 1/8 und 1/8. Sehen Sie sich dazu die Tabelle „Beispiel für die Entropie“ an. Die Länge der Codes ist hier im Hinblick auf ihre Häufigkeiten optimal gewählt. Außerdem ist kein Code der Anfang eines anderen - dadurch bleiben Sie auch bei beliebiger Aneinanderreihung unterscheidbar, zum Beispiel

```
0101001101111 = abbacd
```

Wären die Wahrscheinlichkeiten der Zeichen im obigen Beispiel gleich verteilt, betrüge der Informationsgehalt 2 Bit. Eine Codierung, die die Informationen mit weniger als durchschnittlich 2 Bit pro Zeichen speichern könnte, existiert nicht.

Als letzten Begriff wollen wir die **Redundanz** definieren. Die Redundanz ist einfach gesprochen der verschwendete Speicherplatz, der durch die ineffiziente Codierung entsteht. Es gilt wie in Abbildung gezeigt:

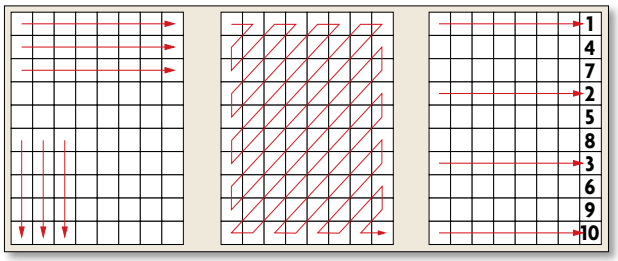
```
Redundanz =
Entscheidungsgehalt - Entropie
```

BEISPIEL FÜR DIE ENTROPIE

Zeichen	relative Häufigkeit p(i)	Code	Anzahl Binärzeichen	Entropie	p(i)*ld(p(i))
a	1/2	0	1	ld(1/(1/2))=1	(1/2) * 1 = 1/2
b	1/4	10	2	ld(4)=2	(1/4) * 2 = 1/2
c	1/8	110	3	ld(8)=3	(1/8) * 3 = 3/8
d	1/8	111	3	ld(8)=3	(1/8) * 3 = 3/8
					HQ = 1 3/4

BEGRIFFE ZUR DATENKOMPRESSION

Die meisten Kompressionsverfahren arbeiten im **streaming mode**: Sie lesen ein oder mehrere Byte, behandeln diese und fahren dann fort, bis die ganzen Daten verarbeitet sind. Manche Verfahren wie die *Burrows Wheeler Transformation* arbeiten im **block mode**. Diese behandeln größere Datenblöcke separat.
Auch arbeitet die Mehrzahl der Algorithmen **physikalisch**. Sie betrachten die Bits einfach als irgendwelche Daten, ohne deren Bedeutung zu kennen - sie interessiert es also nicht, ob es sich um Wörter, Pixel oder Audiodaten handelt. Diese Verfahren wandeln einfach einen Bit-Stream in einen kürzeren um. Die einzige Möglichkeit, einen Sinn aus dem Kodierten herauszufinden (und es zu dekodieren), ist die Kenntniss über das Kompressionsverfahren. Ein weiteres wichtiges Kriterium ist die Unterscheidung in **verlustfreie** und **verlustbehaftete** Kompressionsverfahren. Verlustfreie Kompressionsverfahren führen die komprimierten Daten beim Entpacken wieder exakt in den Urzustand über. Verlustbehaftete Verfahren finden in der Audio-, Bild- und Videokompression Anwendung. Dabei wird ein gewisser Informationsverlust in Kauf genommen – entweder, weil die Information ohnehin überflüssig ist oder ihr Wegfall nur einen sehr geringen Qualitätsverlust für den Menschen mit sich bringt. Die besten Beispiele hierzu sind die im Internet weit verbreiteten JPEG-Bilder, MPEG-Videos und MPEG-3-Audiodateien.



JE NACH ART der Grafik erreichen Sie mit horizontaler, vertikaler oder Zickzack-Abtastung die optimale Kompression.

Eintrag im Dictionary. Daher schreibt der Encoder den Index von *s* (115) an die Ausgabe, fügt den String *si* an der Position 256 dem Wörterbuch hinzu und belegt den String *I* mit dem Zeichen *i*.

So setzt sich der Prozeß bis zum Ende fort, die Ausgabe enthält dann folgende Nummern (in Klammern stehen die zugehörigen Strings, die nicht in der Ausgabe enthalten sind):

```
115(s), 105(i), 114(r), 32(_),
256(si), 100(d), 32(_), 101(e),
97(a), 115(a), 116(t), 109(m),
97(a), 110(n), 262(_e),
256(si), 108(l), 121(y),
32(_), 116(t), 263(ea),
115(s), 101(e), 115(s),
256(_s), 263(ea), 259(_s),
105(i), 99(c), 107(k),
280(_se), 97(a), 108(l),
115(s), eof(end of file).
```

Das Wörterbuch sieht dann ausschnittsweise so aus:

```
0-255   ASCII Codes
256     si
257     ir
258     r_
259     _s
260     sid
261     d_
...
285     _sea
286     al
287     ls
```

Nun stellt der Decoder die Originaldaten wieder her. Er startet wieder mit dem Wörterbuch, das nur die 256 ASCII-Zeichen enthält. Er liest nacheinander die Werte aus den komprimierten Daten und schreibt die zugehörigen Strings an die Ausgabe. Das Wörterbuch baut er dabei genauso auf wie der Encoder. Man sagt daher auch, dass Encoder und Decoder synchronisiert sind bzw. in „lockstep“ arbeiten.

Im Detail: Der Decoder liest den ersten Wert und benutzt ihn, um einen String *I* aus dem Wörterbuch zu lesen. Die Zeichen dieses Strings werden an die Ausgabe geschrieben. Als nächstes müßte der String *Iz* ins Wörterbuch eingetragen werden. Das Zeichen *z* des nächsten Strings ist nun eigentlich noch unbekannt. Aber Sie wissen ja, dass es sich dabei nur um das erste Zeichen des nächsten Strings handeln kann.

Ein Index, den Sie in den Output-Stream des Encoders schreiben, beansprucht bei einer Wörterbuchgröße von maximal 4096 Strings 12 Bit. Ist das Wörterbuch voll, können Sie mit einer von drei Varianten fortfahren:

- Sie können einfach den ältesten oder den am längsten nicht mehr benutzten String mit dem aktuellen String überschreiben.
- Oder Sie vergrößern das Wörterbuch nachträglich. Für Encoder und Decoder müssen Sie immer die gleiche Strategie verfolgen.
- Eine andere Methode ist, einfach keine neuen Strings mehr zuzulassen. Wenn Sie Strings nie entfernen, können Sie das Wörterbuch als verkettete Liste speichern und dadurch sehr viel Speicherplatz sparen. Das Wörterbuch würden Sie dann so definieren:

```
struct dictionary
{
  int parent, character;
} dict[4096];
```

Dabei ist *parent* der Index des alten Strings und *character* der Code (0-255) des letzten ASCII-Zeichens.

Die Wahl der Ersetzungsstrategie ist sehr entscheidend für die erzielten Kompressionsraten bei LZW-Algorithmen. Aber auch die Größe des Wörterbuchs spielt eine große Rolle. Die optimale Größe hierfür hängt von den Eingangsdaten ab.

Huffman-Codierung

Die Huffman-Codierung arbeitet nicht mit einem Wörterbuch, sondern mit der Wahrscheinlichkeit der Eingabezeichen. Sie ordnet allen Eingabezeichen Bitcodes unterschiedlicher Länge zu. Diese Huffman-Codes sind um so kürzer, je häufiger das Zeichen auftritt.

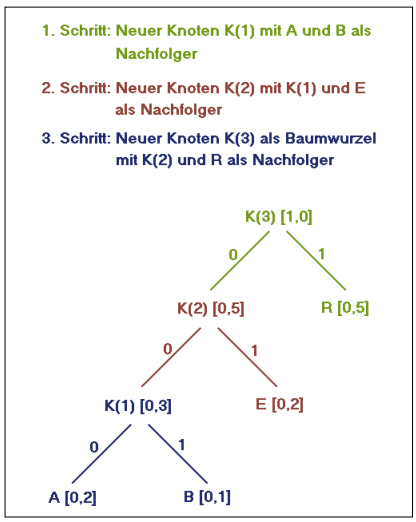
Zur Darstellung dient der Huffman-Baum: ein Binärbaum, dessen Blätter den Eingabezeichen entsprechen und mit ihren Wahrscheinlichkeiten beschriftet sind. Die weiteren Knoten des Baums sind mit der Summe der Wahrscheinlichkeiten der Knoten der nächsthöheren Ebene markiert. Die Kanten bezeichnen wir mit den binären Werten 0 oder 1.

Angenommen, Sie haben die Menge der Eingabezeichen *x(1),...,x(n)* mit den Wahrscheinlichkeiten *p(1),...,p(n).* So bauen Sie den Baum auf:

- Suchen Sie die zwei Zeichen *x(i)* und x(j) mit den kleinsten Wahrscheinlichkeiten.
- Bilden Sie einen neuen Knoten *K(ij)*, und ordnen Sie ihm die Wahrscheinlichkeit

```
p(K(ij)) = p(i) + p(j)
```

zu. Verbinden Sie *K(ij)* mit *x(i)* und *x(j)*, und beschriften Sie die Kanten mit den Werten 0 und 1.
- Entfernen Sie *x(i)* und *x(j)* aus der Menge der Zeichen, und fügen Sie stattdessen *K(ij)* hinzu.
- Ist noch mehr als ein Element in der Menge der Eingabezeichen enthalten, gehen Sie wieder zu Schritt 1.
- Machen Sie den letzten hinzugefügten Knoten zur Wurzel des Baums.



EIN HUFFMAN-BAUM verrät Ihnen den optimalen Code für die in Ihrer Nachricht auftretende Buchstabenhäufigkeit.

Die Skizze oben verdeutlicht die Vorgehensweise für einen Text mit den Zeichen *A (p(A) = 0,2)*, *B (p(B) = 0,1)*, *E (p(E) = 0,2)* und *R (p(R) = 0,5)*. Bauen Sie den Baum von den Blättern bis zur Wurzel auf. Die Bitfolgen für die Zeichen erhalten Sie, indem Sie die Baumäste von der Wurzel bis zu einem Blatt hinab verfolgen und sich dabei die Bits merken:

```
A   000
B   001
E   01
R   1
```

Dadurch, dass kein Code der Anfang eines anderen Codes ist, können Sie codierte Wörter wie

```
EBER    01001011
RABE    100000101
```

eindeutig decodieren. Dazu muss der Encoder die Bitcodes oder den Baum zuvor gespeichert haben.

Wenn Sie komprimierte Daten decodieren wollen, gehen Sie wie folgt vor: Sie starten bei der Wurzel des Baums als aktueller Knoten. Dann lesen Sie ein Bit. Hat es den Wert 0, gehen Sie zum Knoten an der linken Kante Ihres aktuellen Knotens. Beim Wert 1 gehen Sie an der rechten Kante entlang.

Diesen Vorgang wiederholen Sie so lange, bis Sie an einem Blatt des Baums angelangt sind. Dann geben Sie das entsprechende Zeichen aus und springen zurück zur Wurzel. In C-Code könnte das so aussehen:

```
//towrite enthält Anzahl
//der Outputbytes
while (towrite>0)
{
  //Bit lesen
  int bit = getcode(1);
  if (bit == 0) actnode =
    tree[actnode].left;
  else actnode =
    tree[actnode].right;

  if (actnode < 256)
  {
    //Blatt gefunden!
    putc(actnode, g);
    towrite-;
    actnode = nodes-1;
  }
}
```

Statt alle Zeichenwahrscheinlichkeiten zu Beginn abzuzählen, können Sie sie ständig während der Codierung anpassen (Adaptives Huffman Coding). Vorteil: Der Encoder passt sich immer den aktuell auftretenden Wahrscheinlichkeiten an und erzielt dadurch bessere Kompressionsraten. Voraussetzung: Die Anpassung muss schnell erfolgen und die Wahrscheinlichkeiten dürfen sich nicht zu schnell ändern.

In der Praxis finden Sie bei einem Packprogramm meist nicht nur einen Algorithmus, sondern fast immer eine Kombination aus einem Dictionary-Packer und einem statistischen Encoder wie beim Huffman-Algorithmus. Zum Beispiel können die Indizes, die beim LZW-Verfahren als Ausgabe entstehen, als Eingabezeichen für einen Huffman-Packer dienen. Dadurch erzielen Sie deutlich bessere Kompressionsraten als bei der Anwendung nur eines Verfahrens.

Um ungewollten Datenverlusten vorzubeugen, entwickeln Sie zu jedem Packer immer sofort auch den zugehörigen Entpacker. Danach sollten Sie beide einem ausgiebigen Test unterziehen: Was nützt die kleinste Datei, wenn darin nicht mehr alle nötigen Informationen zum Entpacken enthalten sind?

Der LZW-Packer aus dieser Ausgabe gibt Ihnen viel Raum für eigene Experimente. In der nächsten Ausgabe stellen wir Ihnen ausgefeilte Algorithmen für Spezialanwendungen vor. PEI

Empfehlenswerte Literatur:

Salomon, David: Data Compression – The Complete Reference, Springer Verlag 1997, etwa 80 Mark, ISBN 0-387-98280-9

Nelson, Mark / Gailly, Jean-Loup: The Data Compression Book, M&T Books 1996, etwa 75 Mark, ISBN 1-55851-434-1

Die Quelltexte sowie die fertig übersetzten Packprogramme finden Sie auf unserer Heft-CD im Verzeichnis *Praxis/PC Underground* und im Internet-Angebot des PC Magazin unter

```
www.pc-magazin.de/magazin/
➥extras.htm
```

Klicken Sie unter *Online Extras* im Menü *Praxis* auf das entsprechende *Download*-Feld.

rle.cpp

```
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#define MINRLE 3

FILE *in,*out;

void main(int argc,char **argv)
{
  int c,z,count,i;
  if (argc!=4)
  {
    printf("\nRLE-Encoder/Decoder ");
    printf("Beispielprogramm\n");
    printf("(w)(c)2000 by Carsten ");
    printf("Dachsbacher\n");
    printf("\nSyntax: rle (e/d) ");
    printf("infile outfile");
    exit(1);
  }
  argv++;
  if ((*argv)[0]=='e')
  {
    // Input und Output Streams
    argv ++;
    in =  fopen(*argv++,"rb");
    out = fopen(*argv,"wb");
    c=getc(in);
    while (c!=EOF)
    {
      // Nächstes Zeichen lesen
      // und Count erhöhen
      count=0;

      while (((z=getc(in))==c) &&
        (z!=EOF) &&
        (count<(255+MINRLE)))
      {
        count++;
      }
      count++;
      if (count<MINRLE)
      {
        for (i=0; i<count; i++)
          putc(c,out);
      } else
      {
        count-=MINRLE;
        for (i=0; i<MINRLE; i++)
          putc(c,out);
        putc(count,out);
      }

    c=z;
    }
    fclose(in);
    fclose(out);
  } else
  if ((*argv)[0]=='d')
  {
    // Input und Output Streams
    argv++;
    in=fopen(*argv++,"rb");
    out=fopen(*argv,"wb");

    c=256; // unbenutzter code

    // Nächstes Zeichen lesen
    // und Count erhöhen
    count=0;
    while ((z=getc(in))!=EOF)
    {
      putc(z,out);
      if (z!=c)
        count=0;
      count++;
      if (count==MINRLE)
      {
        int wiederholungen=getc(in);
        for (int i=0;
          i<wiederholungen; i++)
          putc(z,out);
        count=0;
      }
      c=z;
    }
    fclose(in);
    fclose(out);
  }
}
```

Dieses Programm packt und entpackt Daten durch Lauflängen-Codierung.