Allgemeine Informatik I im WS 2004/2005

Andreas F. Borchert
Abteilung Angewandte
Informationsverarbeitung

15. Februar 2005

http://www.mathematik.uni-ulm.de/sai/ws04/prog/

Ziele der Vorlesung

Die Vorlesung Allgemeine Informatik I verfolgt zwei wesentliche Ziele:

- Solide Einführung in das Fach der Informatik, so daß später weiterführende Veranstaltungen besucht werden können. Alle Kerngebiete der Informatik werden vertreten sein mit Aspekten aus der theoretischen, praktischen und angewandten Informatik.

- Erlernung des fundierten praktischen Umgangs mit Rechnern. Das geht bei uns deutlich darüber hinaus über das Finden des richtigen Menüs und des richtigen Buttons. Es geht darum, daß Sie das Innenleben Ihres Rechners oder Betriebssystems verstehen lernen, so daß Sie in der Lage sind, selbst für Ihre Arbeit notwendige Werkzeuge zu erstellen und somit viel effizienter und effektiver mit Rechnern umgehen können.

Organisation der Vorlesung

Zu der Veranstaltung Allgemeine Informatik I zählen

- die Vorlesung an jedem Dienstag, 15-17 Uhr im H22,
- die Übungen an jedem Mittwoch, 14-16 Uhr im H4/5,
- die Tutorien, die gruppenweise jede Woche an mit Ihrem Tutor verabredeten Terminen stattfinden und
- Ihre aktive Beteiligung durch das Nacharbeiten der Vorlesung, Lösen von Übungsaufgaben, die Teilnahme an den Tutorien und das Stellen von Fragen in allen Veranstaltungen, per E-Mail oder in den Sprechstunden.

Teilnahme an den Übungen

- Da die Vorlesung weitgehend im Präsentationsstil gehalten wird, droht gerade in der Informatik die Gefahr, daß die Notwendigkeit einer aktiven Beteiligung unterschätzt wird.

- Viele Vorlesungsinhalte wirken zunächst durchaus “einleuchtend” und es ist zu Beginn auch nicht schwierig, ihnen zu folgen. Das gilt insbesondere dann, wenn zu Beginn bereits Erfahrungen mit dem Umgang mit Computern vorliegen.

- Es liegt jedoch in der Natur dieses Faches, daß viele subtile aber wesentliche Feinheiten nur dann auffallen, wenn die Übungsaufgaben zeitnah erledigt werden.

- Später werden die aus den Übungen zu gewinnenden Kenntnisse selbstverständlich vorausgesetzt.

- Diejenigen, die die Übungsteilnahme zu Beginn unterschätzt haben, weil die Vorlesung so leicht erscheint, erfahren dann irgendwann im Laufe des Wintersemesters einen Moment, ab dem sie in der Vorlesung völlig abgehängt werden. Das ist dann sehr frustrierend für alle Beteiligten.

Tutorien

- Tutorien werden in Gruppen zu 4 Studenten abgehalten.
- Gruppen zu drei Studenten sind in Ausnahmefällen auch möglich.
- Den Tutor können Sie während der ersten Übungsstunde morgen wählen. Damit Sie eine Entscheidungsgrundlage haben, werden die bevorzugten Termine für Tutorien der einzelnen Tutoren bekannt gegeben.
- Nutzen Sie bereits heute und morgen früh die Gelegenheit zur Gruppenbildung.
- Mit Ihrem Tutor treffen Sie sich einmal in der Woche irgendwann zwischen Montag und Mittwoch-Vormittag.

Anmeldetermine

Die Teilnahme an den Übungen setzt den Zugang zu unserer Rechner-Infrastruktur voraus. Zu folgenden Terminen können Sie eine Benutzungsberechtigung bei uns beantragen:

Studiengang	Wochentag	Zeitraum
Mathematik und Wima	Mittwoch	10-12 Uhr
E-Technik	Mittwoch	16-18 Uhr
Physik und Wirtschaftsphysik	Donnerstag	14-16 Uhr
alle anderen	Dienstag (heute!)	17-18 Uhr

Alle Termine finden in O27/213 statt. Sobald alle Anträge bearbeitet sind, gehen wir. Wir warten also nicht zwangsläufig bis zum Ende der genannten Zeiträume.

Bitte bringen Sie Ihren Studentenausweis (sofern Sie immatrikuliert sind) oder Ihren Personalausweis (bei Gasthörern) mit. Ohne Ausweispapiere können wir den Antrag nicht entgegen nehmen.

Anmeldeverfahren

- Sie reihen sich zu Ihrem Termin in eine Schlange und warten, bis einer der Tutoren frei wird.

- Der Tutor nimmt Ihre persönlichen Daten entgegen (Name, Matrikelnummer, Studiengang) und gibt Ihnen Gelegenheit, ein erstes Passwort einzutragen.

- Achten Sie bitte darauf, daß Ihr Name korrekt eingetragen wird. Sie werden genau die gleiche Schreibweise später auf Ihrem Schein vorfinden.

- Der Tutor läßt die Benutzungsrichtlinien ausdrucken, die Sie unterschreiben müssen. Der Tutor zeichnet die Richtlinien gegen.

- Die unterschriebenen Benutzungsrichtlinien werden gesammelt und bei unserem Sekretariat abgegeben, das alle ordnungsgemäßen Anträge freischaltet.

- Wenn alles klappt, haben Sie Ihren Zugang binnen ein oder zwei Tagen. Das heißt, daß es spätestens Ende dieser Woche klappen sollte.

- Kontaktieren Sie uns bitte, falls es dabei Probleme geben sollte.

Wahl des Passworts

- Mit einer Benutzungsberechtigung bei uns übernehmen Sie persönlich die Verantwortung für Ihren Zugang.
- Diese beginnt mit der Wahl eines sicheren Passworts.
- Das ist keine triviale Hürde, da gute Passwörter nicht leicht zu erfinden sind und sich nur schwer einprägen lassen.

Wahl des Passworts

Folgende Regeln sind zu beachten:

- Das Passwort sollte genau 8 Zeichen lang sein. (Kürzer ist zu kurz und alles hinter dem achten Zeichen wird unglücklicherweise ignoriert).
- Zugelassen sind alle Zeichen, die die Tastatur hergibt: Klein- und Großbuchstaben, Ziffern, Sonderzeichen.
- Vermeiden Sie Umlaute, "ß" und Funktionstasten.
- Das Passwort darf keinem bekanntem Wort ähneln, egal aus welcher Sprache. Genauso sind Namen, Ortsbezeichnungen, Geburtsdaten, Auto-Kennzeichen, Telefonnummern usw. allesamt tabu.
- Bei uns muß das Passwort mindestens einen Kleinbuchstaben und einen Großbuchstaben haben und eines der ersten sieben Zeichen muß ein Sonderzeichen sein.
- Hinweis: Achten Sie darauf, daß nicht versehentlich Caps-Lock oder Num-Lock aktiv sind!
- Wenn wir feststellen, daß wir Ihr Passwort "knacken" können, wird Ihr Zugang gesperrt, bis Sie bei uns persönlich vorbeischauen.

Schlechte Passwörter

101076
123asd
161065
161072
161278
1anne1
1lichtwa
1quinn
1qwert
2beijing
2callent
2emacs
2mannan
8baume
Allgaeu0
Antimon!
Baller1
Berlin?
Brckstdt
Cardix!
EgkBaH
Gwaihir
Honey7
Kinderzi
LIEBE6
Mailand!
Moritz1
Ninja1
Ninurta
Pasquale
Peppermi
Philo!
Reginald
Sharon!
Somak4
Susanne!
TAbay1
Ukraine1
Zhang!!!
abrahas
af5011
alegria
alex95
alexandr
algarve
angel!
antonia!
anul99
apmats
apollo13
asterix0
avatar1
babis1
barbara!
basti1
beast!
biblia1
bini11
birten
blumensc
bmb850
bochum!
bonzo9
boreal!
bullfrog
butterfl
butthead
carmen
challeng
check-ma
claudia
clemente
cleo19
cocis20
corvus
cumulus1
departur
dg1nfv0
diekts
dingmin
eduardo!
elzbieta
eminem!
erleucht
euro97
f7260h
fabio?
fafnir!
falcon3
front242
furioso
ganter
garfield
ge1706
gery4
hammet2
harpe.
hedwig!
heidi1
hijack
himmelbl
hofbraeu
holsten1
hxnmstr
inges.
island!
jager.
jkjkjk
joasia
joker1
jsschrst
julius.
junkie
karmann
kashmir
kermit
kickers2
konichiw
kontroll
laminar5
leblanc
lespaul
lichen/
lothar1
loulou1
lucent
madlen
maicel
mailman1
mamusia
marsh5
maruca
mathe1
matthi78
me3203
melanie8
mephisto
michael2
micra1
mircea5
mkell1
mopper
morisset
mousse24
niomniom
orkork
ortho9
oyster7
patrick1
peacock
pepper1
peugeot3
popen7
popo96
prodigy
quasar
quattro
quoniam
rack21
radiatio
radies1
revilo
rotar!
roxana
sanjuan1
scarface
sherry
simone2
sobaka
sodom666
sonne1
sonnensc
sphinx
ssroessn
stierle2
striker
struppi!
sunpol
tania2
taraxacu
thpolt1
tiger1
trabitra
tsvg11
tuartor
tueanh
tw0477
verdik.
vergil3
vietnam
viktoria
voodoo2
wave43
werner
winter96
xxxxxx
zaborav1
zeppez
zeppi.
zhangyin

Gute Passwörter

- Gute Beispiele: `iFm=AmSt` `rLK/1oeT`

- Spruch-Methode: Man wähle irgendeinen Satz, beispielsweise "Ich freue mich auf mein Studium", nimmt die Anfangsbuchstaben, variiert Groß- und Kleinschreibung und wirft ein Sonderzeichen ein.

- Zweiwort-Methode: Man wähle zwei Begriffe, beispielsweise "Erlkönig und Goethe", nimmt daraus nur Fragmente und läßt die beiden verbleibenden Teile durch Sonderzeichen verbinden. Hier sollte ebenfalls Groß und Kleinschreibung variiert werden.

Umgang mit Passwörtern

Es ist nicht nur wichtig, daß Sie sich ein gutes Passwort ausdenken, sondern daß Sie damit auch richtig umgehen:

- Nie aufschreiben! Es ist nicht schlimm, wenn Sie Ihr Passwort vergessen. Wenn Sie Ihren Studentenausweis dabei haben, können Sie einen von uns aufsuchen und sich selbst ein neues Passwort eintragen. Es empfiehlt sich, ein neues Passwort einzuüben, indem Sie sich ein Dutzend mal hintereinander anmelden.

- Lassen Sie sich nicht über die Schulter gucken bei der Eingabe des Passworts. Wenn Sie den Verdacht haben, daß jemand Ihr Passwort erspähen konnte, sollten Sie sich sofort ein neues geben. Dies geht mit dem **passwd**-Kommando.

- Senden Sie Ihr Passwort nie im Klartext über das Netzwerk. SSH (*secure shell*) ist gut, da hier alles verschlüsselt wird. Bei POP und FTP werden andere Passwörter verwendet.

- Benutzen Sie nie potentiell mit Viren oder Würmern verseuchte Rechner zur Anmeldung bei uns, da dann mit Schnüffelprogrammen gerechnet werden muß, die die Eingabe von Passwörtern abfangen.

- Ein periodischer Passwort-Wechsel pro Jahr genügt.

Wahl des Benutzernamens

Sie können bei uns frei einen Benutzernamen unter Beachtung folgender Regeln wählen:

- Länge zwischen 2 und 8 Zeichen.
- Besteht aus Kleinbuchstaben und Ziffern und muß mit einem Kleinbuchstaben beginnen.
- Er darf noch nicht vergeben sein.
- Er wird nie wieder geändert!

Beachten Sie bitte die letzte Regel: Wir ändern unter keinen Umständen den Benutzernamen. Überlegen Sie sich also gut, ob Sie auch noch “mausi” heißen möchten, wenn Sie am Ende des Studiums Bewerbungen per E-Mail verschicken.

Im Falle von Namensänderungen (Urkunde/Ausweis bitte mitbringen) wird nur der ebenfalls eingetragene volle Name geändert, jedoch nie der Benutzername. Wir fügen aber in diesen Fällen gerne weitere Mail-Aliase hinzu, die den neuen Namen reflektieren.

Zugang zu unseren Rechnern

Sie haben viele Möglichkeiten, an unsere Rechner zu kommen:

- Öffentliche Pool-Räume mit Chipkarten-Zugang:

O27/211	24 Plätze, gut ausgestattet mit Sun Ultras
O27/213	24 Plätze mit älteren Maschinen

- Öffentliche Pool-Räume in der Helmholtzstraße 18:

E44	Zugang über die Mathematik-Bibliothek
140	reserviert für Diplomanden und Doktoranden

- Über SSH (*secure shell*) von einem beliebigen (hoffentlich sicheren) Rechner auf einen unserer Server:

Theseus	ist vorzuziehen; hier liegen auch Ihre Daten
Turing	sehr alter Server
Turan	Geheimtip, da bislang kaum genutzt
Thales	schnell, aber primär für die Fakultät

Alle diese Namen gehören zur Domain mathematik.uni-ulm.de. Unter `http://ssh.mathematik.uni-ulm.de/` gibt es Hinweise zur Verwendung der SSH.

Benutzungsrichtlinien

In unseren Richtlinien geht es um folgende Punkte:

- Es muß immer sichergestellt sein, wer für welchen Zugang die Verantwortung trägt. Deswegen dürfen Sie nie Ihren Zugang mit jemand anders teilen oder auch nur temporär zur Verfügung stellen.

- Sie dürfen die Sicherheit unserer Rechner nicht gefährden. Das wäre beispielsweise der Fall, wenn es jemand anders gelänge, an Ihren Zugang zu kommen.

- Sie dürfen andere in der Benutzung unserer Rechner-Ressourcen nicht behindern. Rechen- und speicherintensive Anwendungen unterliegen daher strengen Richtlinien. Auch der zur Verfügung stehende Plattenplatz ist aus diesem Grunde reglementiert.

- Der Zugang bei uns darf nur für Studienzwecke genutzt werden.

Signifikante Verletzungen der Richtlinien führen zur temporären Sperrung eines Zugangs, bis der Vorfall durch einen persönlichen Besuch bei uns geklärt ist.

Plattenplatz

- Sie dürfen ohne weitere Rückfragen 50 Megabyte auf Dauer belegen.

- Kurzfristig darf es auch deutlich mehr sein. Es gibt keine Quota bei uns.

- Wenn Sie über 50 Megabyte an einem Wochenende belegen, gibt es eine warnende automatisch generierte E-Mail.

- Wenn Sie diese E-Mails mehrfach ignorieren, führt dies zur temporären Sperrung.

- Wenn Sie für Studienzwecke wirklich mehr Plattenplatz benötigen, erhöhen wir gerne Ihre Schranke. Eine E-Mail an uns genügt.

- Wie sich der benötigte Plattenplatz verringern läßt und das Aufräumen funktioniert, wird in der nächsten Woche vorgestellt.

Benutzung unserer Drucker

- Es stehen mehrere Laser-Drucker zur allgemeinen Verwendung zur Verfügung:

Gutenberg	O27/213
Garamond	O27/211
Merian	Helmholtzstraße 18, E44

- Sie erhalten in jedem Semester ein Kontingent von 200 Seiten, das in zwei Teilen zu jeweils 100 Seiten vergeben wird. Das heißt, daß die zweite Hälfte erst irgendwann in der Mitte des Semesters freigegeben wird.

- Dieses Kontingent ist strikt nur für Studienzwecke zu verwenden. Vorlesungsskripte dürfen nicht über unsere Drucker ausgedruckt werden. Zulässig ist beispielsweise der Ausdruck von Übungsblättern oder Ihrer Lösung zu einem Übungsblatt.

- Es wird dringend empfohlen, von den Druck-Möglichkeiten beim KIZ Gebrauch zu machen (über Ihren KIZ-Zugang). Für diese Drucker können Sie auch über den Unishop beliebig weitere Kontingente nachkaufen. Entsprechend sind die Drucker beim KIZ auch für den Ausdruck von Vorlesungsskripten geeignet.

E-Mails

- Wir und die Tutoren verwenden ausschließlich Ihre E-Mail-Adressen bei uns. Wenn Sie E-Mails weitergeleitet haben möchten, finden Sie Hinweise dazu unter:
  `http://www.mathematik.uni-ulm.de/admin/qmail/`

- Wir empfehlen Ihnen jedoch, E-Mails für Studienzwecke direkt bei uns zu lesen und zu versenden. Das ist viel zuverlässiger als die zahllosen Free-Mailer und ist auch von außen über eine SSH erreichbar.

- POP wird ebenfalls unterstützt, muß jedoch von Ihnen selbst konfiguriert werden:
  `http://www.mathematik.uni-ulm.de/admin/qmail/pop.html`

- Wenn Sie auf einer Web-Schnittstelle bestehen, empfiehlt sich der entsprechende Dienst beim KIZ.

- Bitte versenden Sie keine E-Mails mit umfangreichen Anhängen. Das übliche Limit liegt bei einem Megabyte.

- Wenn Sie größere Datenmengen mit jemanden austauschen möchten, geht dies auch mit individuellen FTP-Zugängen. Mehr dazu unter:
  `http://www.mathematik.uni-ulm.de/admin/adis-ftp/`

Exotik unserer Rechner-Infrastruktur

Unsere Rechner und die Werkzeuge, die wir darauf einsetzen, wirken für viele Neulinge exotisch:

- Bei unseren Rechnern handelt es sich um Arbeitsplätze und Servern von Sun Microsystems. Diese Rechner haben SPARC-Prozessoren, die zu der Familie der Intel-Prozessoren in keiner Weise kompatibel sind.
- Entsprechend ist es beispielsweise unmöglich, Produkte von Microsoft darauf laufen zu lassen.
- Als Betriebssystem wird Solaris eingesetzt. Dabei handelt es sich um eine Variante des originalen UNIX. Linux und das GNU-Projekt haben sich UNIX zum Vorbild genommen. Bei uns haben Sie Gelegenheit, das Original kennenzulernen.
- Noch exotischer ist der Wahl der Programmiersprache, die für die Einführung in die Software-Entwicklung verwendet wird. Oberon dürfte eher als Figur aus dem Sommernachtstraum oder als Mond des Uranus bekannt sein, denn als Programmiersprache.

Warum so eine Umgebung?

Bedenken Sie, daß wir keinen Volkshochschulkurs anbieten. Ziel ist es bei uns, daß Sie solide Grundlagen in der Informatik erhalten, die über die nur kurzfristig Nutzen bringende Vertrautheit mit zur Zeit populären Anwendungen und Programmiersprachen hinausgeht.

Wichtig für die Auswahl unserer praktischen Umgebung waren für uns folgende Kriterien:

- Sie ist einfach. Wir wollen keine kostbare Vorlesungszeit mit der Einführung irrelevanter Details und Komplexitäten verlieren, die in kürzester Zeit wieder veraltet sind.
- Sie folgt weitgehend internationalen Standards. Für die Arbeitsumgebung unter UNIX oder Linux gibt es einen gemeinsam befolgten IEEE-Standard.
- Wenn es Sie interessiert, können Sie hinter die Kulissen schauen und bis zum letzten Bit herausbekommen, wie es dahinter funktioniert.
- Bei Linux (das in der Benutzung Solaris weitgehend ähnelt) haben Sie die Möglichkeit, zu sehen, wie ein Betriebssystemskern funktioniert und bei den GNU-Werkzeugen sind ebenfalls die Quellen allesamt öffentlich.
- Bei Oberon sind unsere Quellen öffentlich und Sie können auch hier das gesamte System mitsamt den Quellen für den Compiler und die Bibliothek nach Hause nehmen.

Zum Inhalt der Vorlesung

Folgende Themen gehören zu Allgemeine Informatik I:

- Kurze Einführung in unsere Arbeitsumgebung einschließlich einer Einführung in das UNIX-Dateisystem und wichtige Werkzeuge unter UNIX.
- Einführung in die praktische Programmierung mit Oberon einschließlich Datentypen (Basistypen, Arrays und Records), Schleifen, Prozeduren, Rekursion, Ein- und Ausgabe und die Einbettung in die UNIX-Umgebung.
- Einführung in Sortier-Algorithmen.
- Einführung in formale Sprachen und endliche Automaten.

Allgemeine Informatik II

Im Anschluß werden im Sommersemester folgende Themen angeboten:

- Fortgeschrittene Rekursionstechniken einschließlich Recursive-Descent-Parsing, Backtracking und Branch-And-Bound-Verfahren.
- Mehr zu formalen Sprachen.
- Einführung in dynamische Datenstrukturen einschließlich linearen Listen, Bäumen und Hash-Verfahren.
- Einführung in die Modularisierung und objekt-orientierte Programmierung.

Sie sind willkommen!

Bitte scheuen Sie sich nicht,

- mitten in der Vorlesung oder in den Übungen Fragen zu stellen,
- Ihren Tutor, den Übungsleiter Herrn Heidenbluth oder mich mit fragenden oder kommentierenden E-Mails zu überschütten und
- unsere Sprechstunden zu nutzen.

Eine erfolgreiche Vorlesungsveranstaltung ist nur möglich, wenn die Kommunikation beidseitig funktioniert.

So erreichen Sie mich:

E-Mail: borchert@mathematik.uni-ulm.de
Büro: Helmholtzstraße 18, Zimmer E02
Telefon: 0731/50-23572 und 0731/50-32110

Einführung in die UNIX-Umgebung

- Die Entwicklung von UNIX begann 1969 als Thompson eine wenig benutzte PDP-7 für die Entwicklung seines "Space Travel"-Projekts requirierte. Mehr dazu:
  `http://www.bell-labs.com/history/unix/pdp7.html`

- Für das Spiel wurde ein minimales Betriebssystem einschließlich einem Dateisystem benötigt. Damit wurde die Grundlage für UNIX gelegt.

- Seit den 80er Jahren gibt es den sogenannten POSIX-Standard für die UNIX-Umgebung, um möglichst viele Gemeinsamkeiten unter den vielen existierenden UNIX-Varianten zu pflegen. Die aktuelle Fassung davon ist der IEEE Standard 1003.1 in der Fassung von 2004 zu finden unter
  `http://www.opengroup.org/onlinepubs/009695399/toc.htm`

- Es gibt viele populäre Implementierungen davon, zu denen beispielsweise Solaris gehört (leitet sich vom originalen UNIX ab), GNU/Linux, FreeBSD und die anderen BSD-Varianten.

- Selbst für Microsoft Windows gibt es durch das Cygwin-Projekt eine POSIX-Umgebung – allerdings mit Einschränkungen.

Einfache Abstraktionen

- Der Erfolg von UNIX begründet sich auf die Verwendung von wenigen und sehr einfachen Abstraktionen.
- In der Informatik ist eine Abstraktion eine möglichst einfache und flexible Schnittstelle, hinter der sich viele verschiedene komplexe Implementierungen verbergen können.
- In folgenden Punkten bietet UNIX konkurrenzlos einfache Abstraktionen an:
  - Namensraum (hierarchisch mit einer Wurzel), bestehend aus vielen verschiedenen Dateisystemen.
  - Dateien (einfache uninterpretierte Sequenz von Bytes).
  - Ein- und Ausgabeverbindungen funktionieren gleichermaßen für Dateien, interaktive Verbindungen zum Benutzer, zu Geräten und bei Netzwerkverbindungen.
  - Ein sehr einfaches Rechtesystem, das im wesentlichen nur eine Benutzer-ID (UID), eine Gruppen-ID (GID) und eine Liste weiterer Gruppenzugehörigkeiten berücksichtigt.
  - Aufrufschnittstelle für Programme.

Shell

- Die wichtigste Schnittstelle unter UNIX für den Benutzer ist die Kommandozeile.

- Programme, die eine interaktive Kommandozeile anbieten, werden unter UNIX Shells genannt. Davon gibt es nicht wenige.

- Bekannt sind insbesondere die Bourne Shell **sh** (praktisch unverändert seit ca. 1980), die Korn Shell **ksh** (entstand Ende der 80er Jahre) und die Bourne Again Shell **bash** aus dem GNU-Projekt. Zeitweilig populär war auch noch die C-Shell **csh**, die sich aber in der verwendeten Syntax deutlich von den anderen Shells unterscheidet.

- Per Voreinstellung starten bei uns neue Zugänge mit der **bash**.

Ablauf einer Shell

Eine interaktive Shell ist unermüdlich darin,

- eine Eingabe-Aufforderung auszugeben (genannt Prompt, besteht bei uns per Voreinstellung aus dem Namen des Rechners, auf dem Sie gerade arbeiten, einem Dollar-Zeichen und einem Leerzeichen),
- eine Zeile einzulesen,
- dies als Aufruf eines Programms mit einigen Parametern zu interpretieren,
- das ausgewählte Programm mit den Parametern zur Ausführung zu bringen und
- darauf zu warten, daß das Program beendet ist.

Eine interaktive Shell endet nur dann, wenn die Eingabe endet oder sie explizit terminiert wird.

Eingabe unter UNIX

Wenn Sie unter UNIX interaktiv etwas eingeben, haben normalerweise einige Zeichen eine besondere Bedeutung:

- **BACKSPACE** löscht das zuletzt eingegebene Zeichen in der aktuellen Eingabezeile.
- **CTRL-u** (zuerst die “Control”-Taste drücken und während sie noch gedrückt bleibt, die Taste “u” drücken) löscht die gesamte Eingabezeile.
- **CTRL-w** löscht das zuletzt eingegebene Wort.
- **RETURN** beendet die aktuelle Eingabe mit einem Zeilentrenner.
- **CTRL-d** beendet die aktuelle Eingabe ohne einen Zeilentrenner. Geschieht dies zu Beginn einer Zeile (also ohne bislang eingetippten Zeileninhalt) wird dies als Eingabe-Ende interpretiert.
- **CTRL-c** sendet ein Signal an das gerade laufende Programm, das normalerweise zur vorzeitigen Terminierung führt.
- **CTRL-s** stoppt die Ausgabe, die sich danach nur mit **CTRL-q** wieder fortsetzen läßt.
- **CTRL-v** nimmt dem folgenden Zeichen die Sonderbedeutung.

All diese Funktionen können auf andere Zeichen belegt werden. Hier sind nur unsere Voreinstellungen genannt.

Kommandozeile

- Eine Kommandozeile in einer Shell besteht im einfachsten Falle aus
  - dem Namen eines Programms und
  - beliebig vielen sogenannten Argumenten (oder Parametern).
- Der Programmname und die Argumente werden durch Leerzeichen (und Tabs) voneinander getrennt.
- Beispiel:

```
doolin$ cal
   October 2004
 S  M Tu  W Th  F  S
                1  2
 3  4  5  6  7  8  9
10 11 12 13 14 15 16
17 18 19 20 21 22 23
24 25 26 27 28 29 30
31
doolin$ cal 11 2004
   November 2004
 S  M Tu  W Th  F  S
    1  2  3  4  5  6
 7  8  9 10 11 12 13
14 15 16 17 18 19 20
21 22 23 24 25 26 27
28 29 30

doolin$
```

Fehler in der Kommandozeile

- Die Mehrheit der zur Verfügung stehenden Programme geben kurze hilfreiche Hinweise, wenn sie falsch aufgerufen worden sind.

- Beispiel:

```
doolin$ cal 2004 11
cal: bad month
usage: cal [ [month] year ]
doolin$
```

  Hier beschwert sich **cal** darüber, daß es keinen Monat mit der Nummer 2004 gibt.

- Die sogenannten Usage-Zeilen geben an, ob und wenn ja, was für Argumente (Parameter) erwartet werden. Die eckigen Klammern umfassen dabei optionale Argumente.

- Im konkreten Falle kann **cal** ganz ohne Argumente aufgerufen werden (liefert den Kalender für den aktuellen Monat) oder mit nur einem Argument (wird als Jahr interpretiert und liefert den Kalender für ein ganzes Jahr) oder mit zwei Parametern (Monat und Jahr; liefert dann den Kalender für den Monat im genannten Jahr).

Manual-Seiten

- Für (fast) alle Kommandos gibt es sogenannte Manual-Seiten, die kurz und präzise jeweils ein Kommando mitsamt all seinen Aufrufmöglichkeiten erklären.

- Diese lassen sich am einfachsten mit dem **man**-Kommando abrufen. Als Argument wird dabei der Name des Kommandos übergeben, zu dem die Dokumentation gewünscht wird.

- Beispiel: `man cal` (gekürzte Ausgabe unter Solaris)

```
NAME
     cal - display a calendar

SYNOPSIS
     cal [ [month] year]

DESCRIPTION
     The cal utility writes a Gregorian calendar to standard
     output.  If the year operand is specified, a calendar
     for that year is written. If no operands are  specified,
     a  calendar for the current month is written.

OPERANDS
     The following operands are supported:

     month Specify the month to be displayed,  represented
           as a decimal integer from 1 (January) to 12
           (December). The default is the current month.

     year  Specify the year for which the calendar is
           displayed, represented as a decimal integer from
           1 to 9999. The default is the current year.
```

Aufbau einer Manual-Seite

- **NAME** zeigt den Namen des Kommandos zusammen mit einem Einzeiler, der das Kommando beschreibt.
- **SYNOPSIS** gibt die Aufruf-Syntax des Programms an analog zur Usage-Meldung.
- **DESCRIPTION** beschreibt detailliert das Kommando und spezifiziert genau wie die Argumente interpretiert werden.
- **SEE ALSO** verweist auf andere Manual-Seiten, die in diesem Kontext interessant sind.
- **BUGS** beschreibt Einschränkungen und verbliebene bekannte Probleme des Kommandos.

Betrachten einer Manual-Seite

- Wenn Sie bei uns mit dem **man**-Kommando eine Manualseite betrachten, landen Sie automatisch in einem Programm, mit dem Sie den Text seitenweise betrachten können.

- Als Seitenbetrachter kommt bei uns per Voreinstellung das Programm **less** zum Zuge.

- Wichtige interaktive Kommandos innerhalb von **less**:

q	steht für "quit" und beendet die Ausführung von **less**.
SPACE	zeigt die nächste Seite an.
b	geht eine Seite zurück ("back").
RETURN	geht eine nur eine Zeile weiter.
h	liefert einen Überblick weiterer Kommandos von **less**.

Der Namensraum unter UNIX

Der hierarchische Namensraum unter UNIX ist rekursiv definiert:

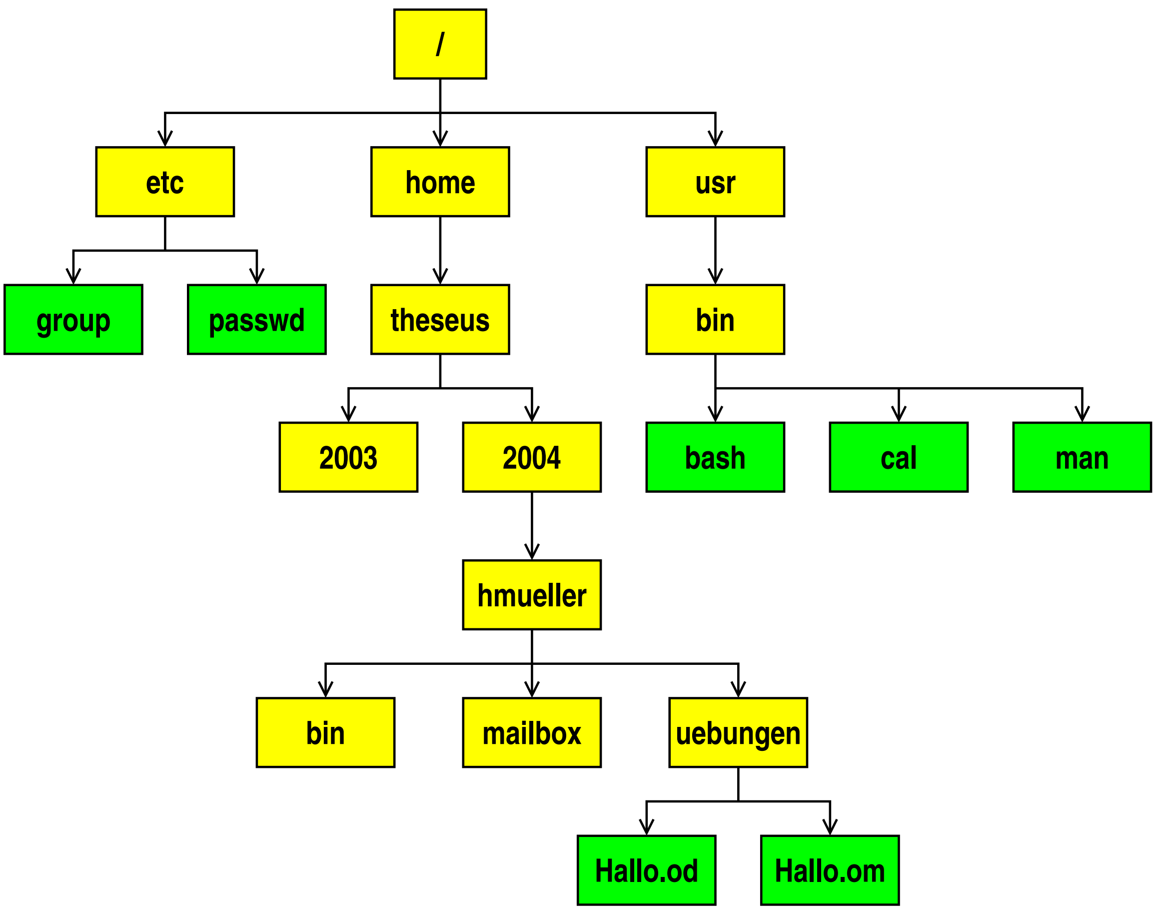
- "/" ist ein Verzeichnis.
- Jedes Verzeichnis beliebig viele Namen, die keine "/" enthalten dürfen. Jedem Namen sind (normalerweise) entweder Dateien oder weitere Verzeichnisse zugeordnet.
- Innerhalb eines Verzeichnisses kommt kein Name mehrfach vor.
- Ein Pfad besteht aus einer Liste von Namen, die durch "/" getrennt werden.
- Beispiel: Wenn Ihr Benutzername "hmueller" lautet und Sie jetzt in diesem Jahr bei uns begonnen haben, findet sich Ihr sogenanntes Heimatverzeichnis unter

  `/home/theseus/2004/hmueller`

  Im sogenannten Wurzel-Verzeichnis "/" gibt es entsprechend ein Verzeichnis namens "home". In diesem wiederum ein Verzeichnis namens "theseus", darunter ein Verzeichnis namens "2004", worunter wiederum das Verzeichnis "hmueller" zu finden ist.

Der Namensraum als Baum

Der Namensraum kann unter UNIX (in erster Näherung) als Baum gezeichnet werden, wobei die Verzeichnisse die Funktion von Ästen übernehmen und die Dateien den Blättern entsprechen. Nach Informatiker-Tradition wachsen Bäume von oben nach unten:



Das Arbeitsverzeichnis

- Jedem Prozeß (laufendes Programm) unter UNIX läßt sich ein aktuelles Arbeitsverzeichnis zuordnen.

- Wenn Sie sich bei uns anmelden, beginnt Ihre Shell in Ihrem Heimatverzeichnis.

- Mit dem **cd**-Kommando (*change directory*) können Sie das aktuelle Arbeitsverzeichnis für die Shell wechseln.

- Beispiel: `cd uebungen`

- Wenn Sie bei **cd** kein Verzeichnis angeben, landen Sie wieder in Ihrem Heimatkatalog.

- Mit **pwd** (*print working directory*) erfahren Sie, in welchem Verzeichnis Sie sich gerade befinden.

Absolute und relative Pfade

- Absolute Pfadnamen beginnen immer von der Wurzel, also mit einem "/".
- Relative Pfadnamen beginnen von dem aktuellen Verzeichnis.
- Beispiel: Ausgehend von Ihrem Heimatkatalog können Sie mit `uebungen/Hallo.od` die Datei `Hallo.od` unter dem Verzeichnis `uebungen` benennen.
- In jedem Verzeichnis gibt es die speziellen Namen `.` und `..`. Mit `..` läßt sich das übergeordnete Verzeichnis erreichen, mit `.` wird das eigene Verzeichnis erreicht.
- Beispiel: Wenn Sie in dem Verzeichnis `uebungen` sind können Sie mit `cd ../bin` in Ihr `bin`-Verzeichnis wechseln.
- Einige Shells, insbesondere die **bash** und die **ksh** interpretieren `~` als Ihr Heimatverzeichnis.
- Beispiel: Mit `cd ~/uebungen` können Sie immer mit einem Kommando in Ihr `uebungen`-Verzeichnis wechseln unabhängig von Ihrer aktuellen Position.

ls-Kommando

- Mit dem **ls**-Kommando erhalten Sie eine Aufzählung der Namen in Ihrem aktuellen Verzeichnis.

- Sie können auch einen Pfadnamen angeben, um sich den Inhalt eines Verzeichnisses anzusehen, ohne dorthin zu wechseln. Beispiel: `ls ~/uebungen`

- Per Voreinstellung werden bei uns Farben verwendet und Verzeichnisse werden dann blau dargestellt.

- Wenn Farben nicht zur Verfügung stehen, können Sie bei uns auch alternativ **f** verwenden (ein kurzes Synonym für `ls -FC`), das hinter Verzeichnisnamen einen Schrägstrich anfügt und hinter ausführbaren Programmen einen Stern.

- Mit der Option `-l` erhalten Sie bei **ls** nicht nur Namen, sondern weitere sehr ausführliche Angaben:

```
doolin$ ls -l
total 3
drwxrwsr-x    2 borchert root      512 Oct 26 08:11 bin
drwxrwsr-x    2 borchert root      512 Oct 26 08:11 mailbox
drwxrwsr-x    2 borchert root      512 Oct 26 08:11 uebungen
doolin$ ls -l uebungen
total 2
-rw-rw-r--    1 borchert root       29 Oct 26 08:11 Hallo.od
-rw-rw-r--    1 borchert root       75 Oct 26 08:11 Hallo.om
doolin$
```

Was ist in einer Datei enthalten?

- Unter UNIX sind Dateien endliche Sequenzen von ganzen Zahlen aus dem Bereich 0 bis 255.

- Für jede dieser Zahlen werden zur Repräsentierung 8 Bits benötigt, die zusammengefaßt als Byte bezeichnet werden.

- Das UNIX-System interpretiert normalerweise nicht den Inhalt von Dateien. Die einzige Ausnahme sind ausführbare Programme.

Was ist ein Text?

- Bei Texten denken wir zunächst an Bücher oder andere Publikationen mit vielen verschiedenen Schriftarten, Farben und Grafiken.

- Wenn Texte jedoch auf einem digitalen Datenträger zu repräsentieren sind, müssen wir all dies in einer geeigneten Form kodieren.

- Die Kodierung beginnt damit, jedem Schriftzeichen eine Nummer zuzuweisen. Hierfür gibt es den Unicode-Standard, der beispielsweise den lateinischen Buchstaben “A” der Nummer 65 zuordnet.

- Diese Kodierung bezieht sich nur auf Schriftzeichen und nicht auf die Schriftgröße, den konkreten Zeichensatz (wie Helvetica oder Times Roman) oder Schriftarten (wie kursiv oder fett).

Text, der durch Text erklärt wird

Hallo.tex

```
\documentclass[12pt]{article}
\usepackage{german}
\begin{document}
Hallo, hier ist etwas Text,
der mit \LaTeX{} gesetzt wurde.
{\bf Hier ist etwas Fettdruck},
{\Large hier etwas gro"se Schrift}
und {\it hier etwas kursiver Text}.
\end{document}
```

- Wenn bereits eine erste Kodierung für Schriftzeichen vorliegt, können auf dieser Ebene leicht Sprachen definiert werden, die Texte in all ihrer Vielfalt beschreiben können.

- Ein Beispiel dafür ist das TEX-System von Donald Knuth bzw. das darauf basierende LATEX-Paket.

- Hier liegt der Schwerpunkt darauf, daß die Kodierung für den Menschen gut lesbar und bearbeitbar ist.

- Mit entsprechenden Programmen kann diese Kodierung in viele andere Kodierungen übertragen werden, die von Druckern verstanden werden (z.B. PostScript) oder die am Bildschirm betrachtbar sind (z.B. PDF). Auch diese Kodierungen sind wiederum Text in vorgegebenen Sprachen, die den gewünschten Ausgabetext in all seiner Vielfalt beschreiben.

Ein- und Ausgabe-Umlenkung in der Shell

- Bislang erschien die Ausgabe der von uns aufgerufenen Kommandos direkt auf dem Shell-Fenster und die Eingabe wurde direkt von der Tastatur eingelesen.

- Die Ein- und Ausgabe lassen sich umlenken. So kann beispielsweise die Ausgabe in eine Datei erfolgen oder die Eingabe aus einer Datei eingelesen werden.

- Beispiel:

```
thales$ cal >cal-ausgabe
thales$ cat cal-ausgabe
   October 2004
 S  M Tu  W Th  F  S
                1  2
 3  4  5  6  7  8  9
10 11 12 13 14 15 16
17 18 19 20 21 22 23
24 25 26 27 28 29 30
31
thales$
```

  Mit > wurde die Ausgabe in eine Datei umgelenkt. Der Name der Ausgabedatei folgt dabei dem Winkel. Mit dem **cat**-Kommando können eine oder mehrere Dateien hintereinander gehängt ausgegeben werden (der Name **cat** leitet sich von *concatenate* ab).

Ein- und Ausgabe-Umlenkung in der Shell

- Die umlenkbaren Ein- und Ausgabe-Kanäle werden als Standard-Eingabe und Standard-Ausgabe bezeichnet.

- Das Kommando **bc** ist als Taschenrechner mit beliebig großen Zahlen (soweit der Speicher reicht) nutzbar. Beispiel:

  ```
  thales$ bc
  2^40
  1099511627776
  thales$
  ```

  Hier wurde die auszurechnende Formel direkt vom Benutzer eingelesen. Das Eingabeende erfolgte mit CTRL-d.

- Mit dem **cat**-Kommando könnten wir jedoch eine Datei mit der Formel füllen und diese später dem **bc**-Kommando füttern:

  ```
  thales$ cat >bc-input
  2^40
  thales$ bc <bc-input
  1099511627776
  thales$
  ```

  Wenn **cat** keine Argumente erhält, wird von der Standard-Eingabe gelesen. Dies wird wiederum durch CTRL-d beendet, wenn Sie direkt vom Benutzer erfolgt. Mit < wird die Standard-Eingabe umgelenkt unter der Verwendung der Datei, deren Name folgt.

Ein- und Ausgabe-Umlenkung in der Shell

- Mit >> ist es auch möglich, die Standard-Ausgabe an eine Datei hinten anzuhängen. Beispiel:

```
thales$ cal >cal-output
thales$ cal 11 2004 >>cal-output
thales$ cat cal-output
   October 2004
 S  M Tu  W Th  F  S
                1  2
 3  4  5  6  7  8  9
10 11 12 13 14 15 16
17 18 19 20 21 22 23
24 25 26 27 28 29 30
31
   November 2004
 S  M Tu  W Th  F  S
    1  2  3  4  5  6
 7  8  9 10 11 12 13
14 15 16 17 18 19 20
21 22 23 24 25 26 27
28 29 30

thales$
```

Verknüpfung von Kommandos

- Die Standard-Ausgabe eines Kommandos kann direkt zur Standard-Eingabe eines folgenden Kommandos werden.

- Beispiel:

```
thales$ ls /usr/bin | grep cal
cal
calendar
locale
localedef
whocalls
thales$
```

- Hier gibt das Kommando **ls** alle Dateien aus dem Verzeichnis `/usr/bin` aus. Diese Ausgabe ist aber nicht zu sehen, sondern wird zur Standard-Eingabe des folgenden Kommandos **grep**. Diese Verknüpfung erfolgt durch den senkrechten Strich, der im UNIX-Jargon als Pipeline bezeichnet wird.

- **grep** selektiert die Zeilen aus der Standard-Eingabe, die ein gegebenes Muster erfüllen. Hier werden nur die Zeilen ausgegeben, in denen die Buchstabenfolge "cal" irgendwo auftaucht.

- Auch längere Pipeline-Ketten sind möglich:

```
thales$ ls /usr/bin | grep cal | wc -l
      5
thales$
```

`wc -l` gibt aus, wieviel Zeilen in der Standard-Eingabe vorgefunden worden sind. **wc** steht dabei für *word count*.

Wichtige Kommandos zur Verwaltung von Dateien

- Mit **mkdir** kann ein Verzeichnis angelegt werden.
  Beispiel: `mkdir uebungen`

- Mit **rm** kann eine Datei gelöscht werden (**rm** steht für *remove*). Vorsicht: Diese Operation läßt sich nicht rückgängig machen.
  Beispiel: `rm Hallo.od`

- Mit **rmdir** lassen sich leere Verzeichnisse entfernen.

- Mit **cp** lassen sich Dateien kopieren.
  Beispiel: `cp Hallo.od NeuesHallo.od`

- Mit **mv** lassen sich Dateien umtaufen oder verschieben.
  Beispiel für das Umtaufen: `mv Hallo.od NeuesHallo.od`
  (Vorsicht: Falls es `NeuesHallo.od` vorher gab, ist es nun verloren gegangen!).
  Beispiel für das Verschieben: `mv ~/Hallo.od .`
  (Verschiebt `Hallo.od` aus dem Heimatverzeichnis in das aktuelle Verzeichnis).

- Philosophie dieser Kommandos: Was der Benutzer möchte, wird klaglos erledigt. Er ist intelligent und weiß, was er möchte. Wenn alles glatt geht, erfolgt keine Ausgabe.

Konventionen auf der Kommandozeile

Viele Programme unterstützen folgende Konventionen:

- Die ersten Argumente sind Optionen, d.h. optionale Argumente. Diese werden üblicherweise mit einem Bindestrich eingeleitet und von einem Buchstaben gefolgt. Beispiel: `ls -l` oder `wc -l`

- Wenn mehrere Optionen angegeben werden, können diese zusammengefaßt oder auch getrennt voneinander angegeben werden.
  Beispiel: `ls -a -l`
  (`-a` bittet **ls** darum, alle Namen aufzuzählen, auch solche die mit einem Punkt beginnen).
  Alternativ: `ls -la`

- Nach den Optionen folgen Dateinamen, aus denen das Programm einliest. Wenn keine Dateinamen angegeben wird, erfolgt die Eingabe aus der Standard-Eingabe. Beispiel: `cat`

- Wenn der erste Dateiname mit einem Bindestrich beginnt, kann mit einem vorausgehenden doppelten Bindestrich -- die Interpretation als Dateiname erzwungen werden.
  Beispiel: `rm -- -x` (Löscht die Datei mit dem Namen "-x").

Was ist ein Editor?

- Editor ist ein anderes Wort für Herausgeber.
- In der Informatik werden Programme zur Erstellung und Bearbeitung von Texten ebenso als Editoren bezeichnet.
- Zu den wichtigsten Funktionalitäten eines Editors gehört es,
  - sich innerhalb des Textes zu positionieren (Navigation),
  - einen ausgewählten Bereich des Textes ansehen zu können,
  - neuen Text einzufügen und
  - bestehenden Text zu entfernen.
- Da die Struktur des Textes so einfach ist, lassen sich auch sehr leicht aufwendigere Operationen realisieren. Dazu gehört beispielsweise das Ausführen von Textänderungen für alle Teilsequenzen, die bestimmten Textmustern entsprechen.
- In der Welt von UNIX bzw. GNU/Linux gibt es zwei Familien von mächtigen Editoren, die große Popularität erlangten: Emacs und vi.

Warum nicht WYSIWYG?

- Durch die Einführung graphischer Benutzungsoberflächen wurden Textsysteme populär, bei denen auf dem Schirm der Text bereits in seiner endgültigen Form dargestellt wird (WYSIWYG = *what you see is what you get*).

- Das hat zur Folge, daß die Kodierung vor dem Benutzer versteckt wird. Bei einigen Systemen (wie z.B. Microsoft Word) ist diese Kodierung proprietär und ändert sich bei jeder neuen Version.

- Nicht-offene Kodierungen werden rasch zum "Datengrab", da nur die zugehörige Anwendung die Kodierung interpretieren und in andere Formen überführen kann. Neue Versionen oder auslaufende Lizenzen können zum Verlust des Textes führen.

- Im übrigen läßt sich der WYSIWYG-Anspruch in der Praxis nicht halten, da Ausdruck und Bildschirmanzeige voneinander deutlich abweichen können.

Wie sieht es mit Programmtexten aus?

- Die Übersetzer gängiger Programmiersprachen erwarten den Programmtext in Form einer Sequenz von Schriftzeichen. Teilweise wird Unicode in voller Allgemeinheit akzeptiert, teilweise nur Unterbereiche davon (z.B. ASCII oder ISO-Latin-1).

- Entsprechend sind traditionelle Text-Editoren sehr beliebt zur Erstellung von Programmtexten. Sie bieten auch sehr umfangreiche Funktionalitäten, um Programmiertexte gut lesbar zu formatieren und effizient zu bearbeiten.

- Viele Programmiersprachen kommen mit Konventionen, wie Programmtext in gut lesbarer Form auszusehen hat.

- Üblich ist auch die farbliche Hervorhebung von einzelnen Elementen des Programmtextes (in Abhängigkeit von der verwendeten Programmiersprache). Diese Hervorhebungen werden nicht im Programmtext selbst gespeichert, sondern allgemein für bestimmte Programmiersprachen oder Editier-Modi konfiguriert.

Woher kommt der vi?

- **vi** steht für "**vi**sual editor".

- Die ursprüngliche Version wurde 1976 von Bill Joy entwickelt als bildschirmorientierte Alternative zum zeilenorientierten Editor **ed**. Aus einem Interview des Linux-Magazins:

  "What happened is that Ken Thompson came to Berkeley and brought this broken Pascal system, and we got this summer job to fix it. While we were fixing it, we got frustrated with the editor we were using which was named ed. ed is certainly frustrating.

  We got this code from a guy named George Coulouris at University College in London called em – Editor for Mortals – since only immortals could use ed to do anything.

  So we modified em and created en. I don't know if there was an eo or an ep but finally there was ex. I remember en but I don't know how it got to ex. So I had a terminal at home and a 300 baud modem so the cursor could move around and I just stayed up all night for a few months and wrote vi."

  `http://www.linux-mag.com/1999-11/joy_04.html`

Variante des vi

Erste Schritte mit dem vi

- Der vi arbeitet grundsätzlich mit seiner eigenen Kopie des zu bearbeitenden Textes.

- Es ist möglich, den vi ohne weitere Kommandozeilenargumente aufzurufen. Dann beginnt der vi mit einem leeren Text.

- Wenn beim Aufruf des vi der Name einer Datei angegeben wird, dann überprüft vi zuerst, ob es diese Datei bereits gibt:

  - Falls noch nicht, bestätigt vi, daß es sich um eine neue Datei handelt ("[New File]") und beginnt mit einem leeren Text.

  - Falls ja, wird die Datei eingelesen und als Kopie zur Verfügung gestellt.

- Eine Sicherung der vi-eigenen Kopie in eine Datei erfolgt nur durch ausdrückliche Kommandos.

Aufbau des Bildschirms beim vi

- Die unterste Zeile ist für Statusangaben reserviert und die Eingabe längerer Kommandos.
- Alle anderen Zeilen dienen zur Anzeige des zu bearbeitenden Textes.
- Um leere Zeilen vom Textende unterscheiden zu können, werden nicht im Text vorhandene Zeilen mit einem führenden “ ” markiert.
- Zu Beginn wird oben der Anfang des eingelesenen Textes angezeigt und der Cursor steht auf dem ersten Zeichen der ersten Zeile.

Hilfe, wie komme ich hier wieder raus?

Falls Sie sogleich in Panik den vi wieder verlassen möchten:

- Durch die Eingabe eines “Q” können Sie den vi sofort verlassen — sofern Sie noch im anfänglichen Modus sind und keine Veränderungen vorgenommen haben.

- Alternativ können Sie mit “ZZ” die Veränderungen abspeichern und den Editor verlassen.

- Falls das nicht hilft, weil Sie sich unglücklicherweise in einem anderen Modus befinden, die Datei verändert wurde, aber noch kein Dateiname bekannt ist oder Sie auf sonstige Weise im Krieg mit dem vi sind, hilft im Notfall folgende Sequenz:

  - Zuerst die Taste “Esc” drücken. Möglicherweise führt das zu einem Piepsignal, das sie getrost ignorieren können.

  - Danch ist ein “:” einzugeben. Der Cursor sollte dann in die unterste Zeile springen, wo er unmittelbar hinter einem frisch angezeigten Doppelpunkt stehen bleibt.

  - An dieser Stelle geben Sie “q!”, gefolgt von der Return-Taste ein.

  Warnung: Diese Prozedur führt zur zwangsweisen Beendigung Ihrer vi-Sitzung. Eine Sicherung Ihres möglicherweise geänderten Textes findet dabei nicht statt.

Rechenmaschinen

- Monotone Rechenaufgaben haben schon seit vielen Jahrhunderten Tüftler bewegt, Maschinen zu konstruieren, die diese Aufgabe abnehmen können.

- Im 16. Jahrhundert entwarf Leonardo da Vinci eine Rechenmaschine. Entsprechende Notizen wurden 1967 entdeckt. Es gibt jedoch keine Hinweise, daß diese zu Zeiten von Leonardo da Vinci gebaut worden wäre.

- 1623 entwickelte und baute der Astronom und Mathematiker Wilhelm Schickard die erste bekannte Rechenmaschine, die alle vier Grundrechenarten beherrschte.

- 1645 wurde von Blaise Pascal die zweite bekannte Rechenmaschine gebaut.

- 1668 wurde die erste nicht-dezimale Addiermaschine für die englische Währung von Sir Samuel Morland gefertigt.

- 1673 baute Gottfried Leibniz eine Rechenmaschine, die neben den Grundrechenarten auch Wurzeln ziehen konnte.

- 1786 entstand die "Differenzmaschine" von J. M. Mueller entwickelt, die es erlaubte, Polynome zu tabulieren.

- 1801 entstand die automatisierte Web-Maschine von Joseph-Maire Jacuard, die mit Lochkarten programmiert wurde.

- 1820 entstand der erste in Massen produzierte Rechner von Charles Xavier Thomas de Colmar, der über 90 Jahre lang verkauft wurde.

Rechenmaschinen

- Da nicht jeder eine Rechenmaschine zur Verfügung hatte, gewannen viele Rechenhilfe große Popularität, zu denen insbesondere Tafeln für Logarithmen und trigonometrische Funktionen gehörten.

- Eine der ersten Logarithmentafeln entstand 1620 von Henry Briggs.

- Mit zunehmenden Ansprüchen aus Astronomie, Vermessungswesen und dem Ingenieurswesen wurden immer umfangreichere Tabellenwerke benötigt, die in mühseliger Handarbeit von Scharen an Mitarbeitern erstellt wurden. Das war zeitaufwendig, teuer und auch sehr fehleranfällig.

- Charles Babbage (1791-1871) versuchte, den ersten generell programmierbaren Rechner zu bauen einschließlich Lochkarten, frei nutzbarem Speicher und einem Drucker. Seine "Analytic Engine" wurde jedoch zu seinen Lebzeiten nie funktionsfähig. Seine hinterlassenen Teile und Aufzeichnungen ermöglichten später einen Nachbau durch das London Science Museum, der die Funktionsfähigkeit seines Entwurfs belegte.

- Ada Lovelace unterstützte Babbage und entwarf auf Papier Programme für die "Analytic Engine". Sie ist damit die erste Programmiererin in der Geschichte.

Rechenmaschinen

- 1938 baute Konrad Zuse einen mechanischen Rechner, das Binärsystem verwendete (Z1).
- 1939 entwickelten John V. Atanasoff und Clifford Berry eine 16-Bit-Addiermaschine auf Basis von Röhren.
- 1939 konstruierte Konrad Zuse eine Rechenmaschine auf Basis von elektrischen Relays (Z2).
- 1940 wurde bei den Bell Laboratories der "Complex Number Calculator" entwickelt, für den Bauteile von Telefon-Verbindungsanlagen verwendet wurden und der über Fernschreiber bedient werden konnte.
- 1941 entstand der erste programmierbare Rechner, der jedoch noch keine bedingten Sprünge unterstützte von Konrad Zuse (Z3).
- 1943 entstand "Harvard Mark I" als programmierbarer Rechner von Howard H. Aiken und seinem Team.
- 1943: "I think there is a world market for maybe five computers.", Thomas Watson, Vorstandsvorsitzender von IBM.

Rechenmaschinen

- 1943 wurde ein spezialisierter Rechner zum Knacken von Chiffren entwickelt von Max Newman, Wynn-Williams und deren Team, zu dem auch Alan Turing gehörte. Später wurde "Collossus" gebaut, der es erlaubte eine programmierbare logische Funktion auf ein Eingabe-Band mit einer Geschwindigkeit von 5000 Zeichen pro Sekunde auszuführen.

- 1946 entstand der erste vollständige elektronische Computer (ENIAC = Electronic Numerical Integrator and Computer) von John W. Mauchly und J. Presper Eckert am Ballistic Research Laboratory.

- 1948 entstand der erste Rechner, der sowohl das Programm als auch die Daten im Speicher verwaltete (SSEM = Small Scale Experimental Machine) am Manchester University.

- 1951 wurde der erste universell programmierbare Rechner (UNIVAC-1) von J. Presper Eckert and John Mauchly entwickelt und gebaut.

Modelle für Rechenmaschinen

Programmierbare Rechenmaschinen benötigen ein Funktionsmodell, das beschreibt, wie die Programm-Instruktionen ausgeführt werden. Es gibt zahlreiche verschiedene Funktionsmodelle:

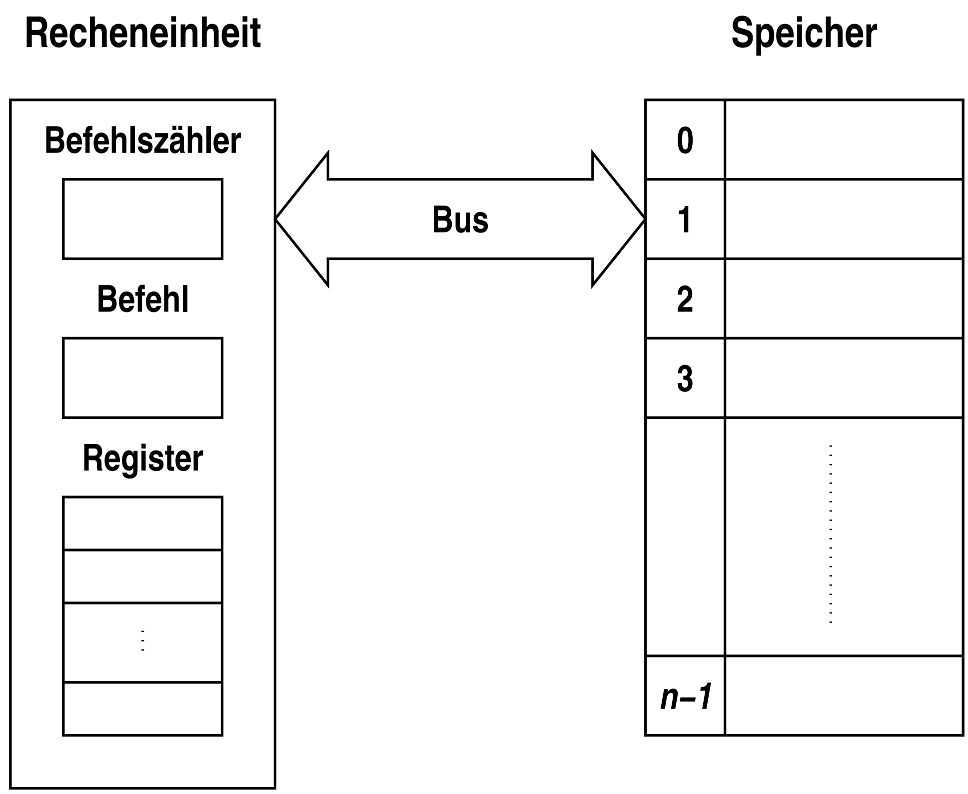
Theoretische Modelle:

- Lambda-Kalkül, wurde in den 30er Jahren von Alonzo Church und Stephen Kleene entwickelt zur theoretischen Untersuchung der Berechenbarkeit.
- Turing-Maschine, wurde von Alan Turing entwickelt, ebenfalls für theoretische Untersuchungen.
- Zelluläre Automaten, die insbesondere durch die Arbeiten von John Horton Conway bekannt wurden.

Praktische Rechner-Architekturen:

- Die John-von-Neumann-Maschine die ist zugrundeliegende Architektur fast aller Rechner von heute. Wesentliches Merkmale sind die gemeinsame Nutzung des Speichers für Daten und Programme und die Trennung zwischen Recheneinheit und Speicher.
- Im Vergleich dazu sieht die Harvard-Architektur die Trennung zwischen Daten und Programmen vor. Namensgeber war die "Harvard Mark I".

John-von-Neumann-Maschine



- Wurde von John von Neumann, John William Mauchly und J. Presper Eckert beim ENIAC-Projekt entwickelt.

- Der Speicher besteht aus n Speicherzellen, die individuell addressiert werden können.

- Über das Bus-System ist es möglich, einen Lesebefehl und eine Adresse aus dem Bereich $[0..n-1]$ anzugeben. Kurz darauf kopiert das Speichersystem den Inhalt der entsprechenden Zelle in den Bus. Umgekehrt kann auch über den Bus ein Schreibbefehl zusammen mit einer Adresse und dem Wert einer Speicherzelle gegeben werden und der Speicher kopiert dann den Wert in die entsprechende Zelle.

Ausführungszyklus

- Die Recheneinheit hat weitere Speicherzellen, die ihr direkt zugänglich sind. Diese werden Register genannt. Dazu zählen insbesondere der Befehlszähler, ein Register für den aktuellen Befehl und weitere allgemein verwendbare Register.

- Zu Beginn eines Rechenschritts wird die vom Befehlszähler adressierte Speicherzelle in das Befehls-Register geladen.

- Danach wird der Befehlszähler um 1 erhöht.

- Der Befehl wird dann dekodiert und ausgeführt.

- Im Rahmen eines Befehls ist es u.a. möglich,

  - Daten aus dem Speicher in eines der Register zu laden,

  - den Inhalt eines Registers in eine Speicherzelle zu schreiben,

  - arithmetische Operationen auf den Registern durchzuführen,

  - Werte in den Registern miteinander zu vergleichen und

  - den Befehlszähler zu verändern, ggf. in Abhängigkeit eines vorher stattgefundenen Vergleichs.

- Wenn der Befehl fertig ausgeführt ist, wiederholt sich diese Abfolge.

Rechner-Architekturen

Bei Rechner-Architekturen gibt es zwei Sichten:

- Sicht des Programmierers: Hier ist das Modell (abstrakte Architektur) relevant einschließlich der zur Verfügung stehenden Register, des Adreßraumes, des Speichers und insbesondere die zur Verfügung stehenden Instruktionen.

- Sicht des Hardware-Ingenieurs: Hier geht es darum, wie ein Modell konkret durch Hardware implementiert werden kann. Viele Einzelkomponenten sind notwendig, um ein funktionierendes System zu bauen: Prozessor, Hauptplatine, Speicher-Chips, Ein- und Ausgabegeräte.

Zu einer abstrakten Architektur gibt es häufig zahlreiche Implementierungen. So läuft beispielsweise ein Programm, das für den Intel 80386-Prozessor in den 80er Jahren geschrieben worden ist, auch heute noch auf einem System mit einem Pentium-IV-Prozessor.

Es gibt zahlreiche verschiedene abstrakte Architekturen, die nicht miteinander kompatibel sind. Unsere Maschinen von Sun verwenden beispielsweise die SPARC-Architektur. Programme für die SPARC-Architektur laufen nicht auf den Intel-Prozessoren und umgekehrt.

Redcode-Architektur

Redcode ist ein kleines übersichtliches Beispiel für eine abstrakte Rechner-Architektur:

- Redcode wurde zum ersten Mal vorgestellt in der Kolumne "Computer Recreations" der Zeitschrift Scientific American im Mai 1984 von A. K. Dewdney.
- Das klassische Redcode-Modell kommt mit 8000 Speicherzellen und 8 verschiedenen Instruktionen aus.
- Auf allgemeine Register wurde verzichtet. Stattdessen werden arithmetische Operationen direkt auf den Speicherzellen ausgeführt. Dies wäre weniger praktisch für eine Architektur, die in Hardware gegossen wird, aber Redcode wird nur emuliert, d.h.&,durch Programme auf normalen Maschinen simuliert.

Redcode-Befehle

Befehle haben in Redcode ein oder zwei Operanden, die jeweils entweder einen Wert direkt angeben oder eine Speicherzelle direkt oder indirekt adressieren:

MOV	*A*, *B*	Kopiere den Wert von *A* nach *B*
ADD	*A*, *B*	Ersetze den Wert von *B* durch die Summe von *A* und *B*.
SUB	*A*, *B*	Ersetze den Wert von *B* durch die Differenz von *A* und *B*.
JMP	*A*	Springe nach *A*.
JMZ	*A*, *B*	Springe nach *A*, falls *B* den Wert 0 hat.
JMG	*A*, *B*	Springe nach *A*, falls *B* einen Wert ungleich 0 hat.
DJN	*A*, *B*	Dekrementiere *B* um 1 und springe nach *A*, falls *B* noch nicht 0 wurde.
CMP	*A*, *B*	Vergleiche *A* und *B* und überspringe die nächste Instruktion, falls die beiden Werte nicht übereinstimmen.

Hinweis: Bei Sprüngen wird ein neuer Wert in den Befehlszähler geschrieben.

Adressierungs-Modi

Jeder der beiden Operanden eines Befehls kann auf verschiedene Weise adressiert werden:

- Konstante: Es wird keine Speicherzelle adressiert, sondern der gewünschte Wert ist direkt in dem Befehl enthalten.
- Direkt: In dem Befehl steht eine Adresse, die *relativ* zum (alten, noch nicht inkrementierten) Wert des Befehlszählers interpretiert wird. Das heißt, daß implizit der Befehlszähler zur Adresse addiert wird. Ist das Resultat größer oder gleich 8000, wird durch 8000 geteilt und der Rest genommen (aus 8000 wird so 0, aus 8001 entsprechend 1 usw.).
- Indirekt: Zunächst wird wie bei der direkten Adressierung der Inhalt einer Speicherzelle geladen. Dann wird diese ebenfalls als Adresse interpretiert, die *relativ zur vorher adressierten Speicherzelle* interpretiert wird.

Solche Adressierungsmodi sind auch typisch für real existierende Prozessoren. Allerdings wird typischerweise mit Hilfe von Registern indirekt adressiert.

Core Wars

Redcode wurde für ein interessantes Computer-Spiel konzipiert:

- Zwei beliebige Programme werden an zufällig bestimmten Stellen in den Speicher geladen.
- Die Recheneinheit gibt es doppelt, d.h. für jeden der beiden Programme wird ein Befehlszähler verwaltet.
- Die Speicherzellen sind entweder mit einem Datenwert gefüllt oder einem Befehl. Alle nicht von den beiden Programmen belegten Speicherzellen haben zu Beginn den Datenwert 0.
- Abwechselnd wird jeweils ein Befehl eines der beiden Programme ausgeführt.
- Sobald eines der beiden Programme versucht, einen Datenwert als Befehl auszuführen, hat es verloren.

Beispiel in Redcode: Dwarf

Dwarf.rc

```
;;; DWARF, as originally described by A.K. Dewdney.

ptr     DAT     #0
start   ADD     #5,ptr
        MOV     #0,@ptr
        JMP     start
```

- Dieses Programm besteht aus einem Datenwert und drei Befehlen.
- Ein # vor einem Operanden gibt an, daß es sich um eine Konstante handelt, @ kennzeichnet eine indirekte Adressierung.
- Der ADD-Befehl erhöht den Datenwert jeweils um 5.
- Der MOV-Befehl speichert den Datenwert 0 in die Speicherzelle, auf die der Datenwert vor dem ADD-Befehl verweist.
- Der JMP-Befehl springt wieder zum ADD-Befehl.
- Dieses Programm legt also im gesamten Speicher in jeder 5. Speicherzelle eine 0 ab.
- Wenn so eine Daten-0 in ein fremdes Programm fällt, sind die Chancen gut, daß der Gegner verliert.

Repräsentierungen für Programme

Dwarf.o

```
0 0
2 0 5 1 -1
1 0 0 2 -2
4 1 -2
```

- In den Speicherzellen einer Maschine werden Befehle mit Nummern kodiert. Im obigen Beispiel repräsentiert 0 ein Datenfeld, 1 einen MOV-Befehl, 2 eine ADD-Befehl und 4 steht für JMP.

- Operanden bestehen hier jeweils aus zwei Zahlen: Die erste spezifiziert den Adressierungsmodus und die zweite den Wert.

- Da es sehr unbequem ist, Programme in dieser Form einzugeben, wurden sogenannte Assembler entwickelt, bei denen die Befehle Namen statt Nummern haben und die Symbole für Programmpositionen unterstützen. Auf diese Weise entfällt das Zählen von Befehlen, um eine Distanz korrekt zu berechnen.

- Wenn Programme unabhängig von einer konkreten Architektur sein sollen, dann werden Programmiersprachen (wie Oberon) interessant, die für verschiedene Architekturen übersetzt werden können.

Programmiersprachen

Eine Programmiersprache wird durch zwei Komponenten definiert:

- Die Syntax, die durch eine formelle Grammatik beschrieben wird, spezifiziert welche Programmtexte zulässig für die Programmiersprache sind und welche nicht.

- Die Semantik beschreibt, welche Bedeutung Programmtexte haben. Es gibt verschiedene formelle Methoden, die Semantik einer Programmiersprache zu spezifizieren (Beispiele: operationelle, denotationelle und axiomatische Semantik), sehr häufig geschieht dies jedoch informell.

Maschinennahe Sprachen

Die Semantik maschinennaher Sprachen bezieht sich direkt auf real existierende Prozessoren:

- Vorteil: Eine hohe Ausführungsgeschwindigkeit ist möglich, wenn mit entsprechend viel Aufwand alle Eigenheiten einer Maschine ausgenutzt und berücksichtigt werden.
- Nachteil: Maschinenprogramme werden bei einem größeren Umfang sehr schnell unübersichtlich und damit sehr fehleranfällig.
- Noch ein Nachteil: Maschinennahe Programme funktionieren nur auf Maschinen eines Typs und können nur unter unverhältnismäßigem Aufwand auf andere Architekturen portiert werden.

Höhere Programmiersprachen

Höhere Programmiersprachen werden typischerweise mit einer Reihe von Zielsetzungen entwickelt:

- Sie sollen für Menschen leichter lesbar, schreibbar und wartbar sein.
- Sie sollen unabhängig von einer konkreten Maschinenarchitektur sein.
- Es sollte möglich sein, Programmtexte in effiziente Maschinenprogramme automatisch zu übersetzen.

Einfachheit vs Kompliziertheit

- Anzahl der Seiten der Referenzdokumentationen ausgewählter Programmiersprachen:

Perl	1067
Common Lisp	$>$ 1000
COBOL	810
C++	776
C	554
Java	544
Fortran 77	430
PL/I	420
Eiffel	300
Pascal	120
Scheme	50
Oberon	20

- “The most important decision in language design concerns what is to be left out.” Niklaus Wirth, Autor von Pascal, Modula-2 und Oberon.

- “Small is beautiful. Small is powerful. Small is easy to understand.” Guy L. Steele Jr., in seinem Vorwort zu einem Buch über Scheme.

- “And to the minimalists in the crowd, Perl seems like a pointless exercise in redundancy. But that’s okay. The world needs a few reductionists (mainly as physicists). Reductionists like to take things apart. The rest of us are just trying to get it together.” Larry Wall, in seinem Vorwort zu “Programming Perl”.

Vom Programmtext zur Ausführung

- Im Normalfall werden Programmtexte durch einen Übersetzer für die verwendete Programmiersprache in die gewünschte Maschinensprache übersetzt.

- Ein Übersetzer (auch Compiler genannt) unterstützt dabei typischerweise genau eine Programmiersprache und eine Zielarchitektur.

- Es gibt auch Übersetzer, die Programmtexte in andere Programmiersprachen oder in Maschinensprachen für virtuelle Maschinen übersetzen.

- Programme für virtuelle Maschinen können mit Simulatoren zur Ausführung gebracht werden. Nachteil: Simulatoren sind deutlich langsamer als reale Prozessoren.

Oberon

- Oberon als Programmiersprache wurde von Niklaus Wirth (ETH Zürich) im Rahmen des gleichnamigen Projekts Ende der 80er Jahre entwickelt. Zuvor war Niklaus Wirth u.a. bereits bekannt für Pascal und Modula-2.

- Oberon vereinigt drei wichtige Vorzüge:

  - Unterstützung moderner Software-Konzepte wie Modularisierung, Typsicherheit, Objekt-Orientierung und automatisierte Speicherverwaltung.

  - Oberon kann in hocheffizienten Maschinen-Code übersetzt werden.

  - Oberon ist konkurrenzlos einfach.

- Die Sprachdefinition ist unter
  `http://www.mathematik.uni-ulm.de/oberon/reports/report-1992.html`
  zu finden.

- Es gibt einige Varianten zu Oberon. Unter
  `http://www.mathematik.uni-ulm.de/oberon/reports/ulmdiff-1994.html`
  finden sich genaue Hinweise zu der von uns unterstützten Sprachversion.

- Dokumentation zu den Ulmer Oberon-Systemen finden sich unter
  `http://www.mathematik.uni-ulm.de/oberon/`

Ein erstes Beispiel mit Oberon

Hallo.od

```
DEFINITION Hallo;

END Hallo.
```

Hallo.om

```
(* Ausgabe einer kleinen Begruessungszeile
   Andreas Borchert, 9. November 2004
*)

MODULE Hallo;

   IMPORT Write;

BEGIN
   Write.Line("Hallo, wie geht es?");
END Hallo.
```

- Ein Oberon-Programm setzt sich aus vielen Modulen zusammen.

- Zu jedem Modul gibt es zwei Programmtexte: Eine Schnittstellendefinition, die beschreibt, was ein Modul anderen Modulen zur Verfügung steht und das eigentliche Modul.

- Jeder Programmtext wird in einer eigenen Datei abgelegt.

- Beim Ulmer Oberon-System werden die Dateien nach den Modulen benannt, gefolgt von ".od" bei Schnittstellendefinitionen und ".om" bei den eigentlichen Modulen.

Übersetzen von Oberon-Programmen

```
doolin$ ls
Hallo.od  Hallo.om
doolin$ oc Hallo.od
doolin$ ls
Hallo.od  Hallo.om  Hallo.sy
doolin$ oc -c Hallo.om
doolin$ ls
Hallo.o  Hallo.od  Hallo.om  Hallo.r  Hallo.sy
doolin$ oc -o Hallo Hallo.o
doolin$ ls
Hallo  Hallo.o  Hallo.od  Hallo.om  Hallo.r  Hallo.sy
doolin$ Hallo
Hallo, wie geht es?
doolin$
```

- Auf unseren Suns steht der Oberon-Übersetzer über das Kommando **oc** zur Verfügung.
- Die Schnittstelle (hier "Hello.od") muß zuerst übersetzt werden. Es entsteht dabei die sogenannte Symboldatei "Hello.sy".
- Danach kann das eigentliche Modul (hier "Hello.om") übersetzt werden. Dabei entsteht "Hello.o", das den Maschinen-Code enthält, und "Hello.r", das bei einer späteren Fehleranalyse behilflich sein kann.
- Schließlich kann das fertige ausführbare Programm gebaut werden unter Verwendung der Bibliothek (hier wurde konkret das Modul "Write" verwendet).

Übersetzen mit Hilfe eines Makefile

```
doolin$ mmo -c Makefile
doolin$ ls
Hallo.od  Hallo.om  Makefile
doolin$ make
oc   -c -u Hallo.od Hallo.om
oc    -o Hallo \
        Hallo.o
doolin$ Hallo
Hallo, wie geht es?
doolin$ make realclean
rm -f Hallo.sy Hallo.r Hallo.o *.ts core
rm -f Hallo
doolin$ ls
Hallo.od  Hallo.om  Makefile
doolin$
```

- **make** ist ein Werkzeug, das gewünschte Dateien entsprechend eines Abhängigkeitsgraphen und eines Regelwerkes mit minimalem Aufwand baut. Voraussetzung dafür ist ein sogenanntes **Makefile**, das die Abhängigkeiten beschreibt.

- Für Oberon kann ein **Makefile** mit **mmo** (*make makefile for Oberon*) automatisch erzeugt werden.

- Danach genügt ein Aufruf von **make**, um das ausführbare Programm zu erzeugen.

- Mit **make realclean** können alle generierbaren Dateien wieder gelöscht werden.

Übersetzen mit dem neuen System

```
archimedes$ ls
Hallo.od  Hallo.om
archimedes$ obci Hallo.od Hallo.om
archimedes$ ls
Hallo.od  Hallo.om
archimedes$ obbuild Hallo
archimedes$ ls
Hallo  Hallo.od  Hallo.om
archimedes$ Hallo
Hallo, wie geht es?
archimedes$
```

- Wenn Sie das Ulmer Oberon-System unter Linux verwenden, erfolgen die Übersetzungen mit Hilfe einer Datenbank.

- Mit **obci** (*Oberon check-in*) laden Sie die angegebenen Quellen in die Datenbank.

- Mit **obbuild** wird mit Hilfe der Module aus der Datenbank ein ausführbares Programm generiert.

Struktur eines Programmtextes

Hallo.od

```
DEFINITION Hallo;

END Hallo.
```

- Programmtexte sind zunächst endliche Sequenzen aus Zeichen.
- Traditionellerweise werden nur sogenannte ASCII-Zeichen mit Nummern aus dem Bereich von 32 bis 126 verwendet. Hinzu kommen nur noch Leerzeichen und Zeilentrenner.
- Umlaute und andere spezielle Schriftzeichen werden vermieden, da Programmtexte möglichst problemlos international lesbar und verarbeitbar sein sollten.
- Einzelne Zeichenfolgen werden (in Abhängigkeit von der jeweiligen Programmiersprache) zu sogenannten lexikalischen Symbolen zusammengefaßt.
- Der Programmtext aus "Hallo.od" besteht aus sechs Symbolen: "DEFINITION", "Hallo", ";", "END", "Hallo" und ".".
- Zwischen den Symbolen können und gelegentlich müssen auch Leerzeichen und/oder Zeilentrenner stehen.
- Würde das Leerzeichen zwischen "DEFINITION" und "Hallo" fehlen, würde daraus ein Symbol "DEFINITIONHallo".

Lexikalische Symbole in Oberon

In Oberon gibt es eine Reihe lexikalischer Symbole:

- Die Schlüsselwörter bestehen nur aus Großbuchstaben und sind alle vordefiniert. Beispiele: “DEFINITION”, “END”, “MODULE”, “IMPORT”, “BEGIN” und “END”.

- Selbst definierte Namen dürfen frei gewählt werden, solange sie nicht mit Schlüsselwörtern und anderen Namen kollidieren. Sie müssen mit einem Buchstaben (“a” bis “z” und “A” bis “Z”) beginnen und bestehen dann aus einer Folge von weiteren Buchstaben und Ziffern. Zeichen wie “-”, “_” oder Umlaute sind nicht zulässig. Der Unterschied zwischen Klein- und Großbuchstaben ist signifikant.
  Beispiele: “Hallo”, “Write”, “Line”.

- Interpunktionszeichen bestehen aus einem oder mehreren speziellen Zeichen. Beispiele: “;”, “.”, “(” und “)”.

- Zeichenketten bestehen aus einem doppelten Anführungszeichen, einer beliebigen Zeichenfolge (ohne Zeilentrenner) und einem weiteren doppelten Anführungszeichen.
  Beispiel: `"Hallo, wie geht es?"`

- Kommentare bestehen aus “(*”, gefolgt von einem beliebigen Text über beliebig viele Zeilen, der durch “*)” beendet wird. Sie sind äquivalent zu Leerzeichen und dienen somit auch als Trenner lexikalischer Symbole.

Syntaxfehler

```
archimedes$ cat Hallo.om
MODULE Hallo

   IMPORT Write;

BEGIN
   Write.Line("Hallo, wie geht es?");
END Hallo.
archimedes$ obci Hallo.om
archimedes$ obbuild Hallo
errors in MODULE Hallo:
  1 MODULE Hallo
  3    IMPORT Write;
 ** ";" is missing
obload: error: module Hallo: unable to load object
        module Hallo: unable to load object
        module Hallo: compilation failed
archimedes$
```

- Nicht alle Sequenzen von lexikalischen Symbolen sind zulässig.
- Im obigen Beispiel fehlt das Semikolon hinter dem Modulnamen und entsprechend wird die Übersetzung verweigert.

Lesbarkeit von Programmtexten

Hallo2.om

```
   MODULE
Hallo2
;IMPORT
                  Write
;BEGIN            Write
.
         Line     (
            "Hallo, wie geht es?"
                                  )
;END
        Hallo2
                           .
```

- Im Vordergrund steht die Lesbarkeit des Programmtexts für den Entwickler und nicht für den Übersetzer.

- Deswegen ist die disziplinierte Verwendung eines auf Lesbarkeit ausgerichteten Stils essentiell.

- Schopenhauer: “Wer nachlässigt schreibt, legt dadurch zunächst das Bekenntnis ab, daß er selbst seinen Gedanken keinen großen Wert beilegt!”

- Nietzsche: “Den Stil verbessern — das heißt den Gedanken verbessern und nichts weiter.”

- L. Reiners: “[...] der Kampf um den Ausdruck ist ein Kampf um den Inhalt. Um einen Gedanken knapp und kristallklar zu formulieren, muß man ihn bis zum Ende durchdacht haben; [...] die Form ist der Prüfstein des Gehalts.”

Rahmen eines Moduls

Hallo3.om

```
MODULE Hallo3;
   IMPORT Write;
BEGIN
   Write.Line("Hallo, wie geht es?");
   Write.Line("Mir geht es gut, aber");
   Write.Line("gleich ist es mit mir zu Ende!");
END Hallo3.
```

- Eigentliche Module beginnen immer mit dem Schlüsselwort "MODULE", gefolgt von dem Modulnamen und einem Semikolon.
- Mit "IMPORT" kann eine durch Kommata getrennte Liste von Modulen angegeben werden, die dann später in dem gleichen Programmtext verwendet werden können. Diese Liste wird durch ein Semikolon terminiert.
- Zwischen den Schlüsselwörtern "BEGIN" und "END" stehen beliebig viele durch Semikolon getrennte Anweisungen, die in der gegebenen Reihenfolge ausgeführt werden.
- Wenn ein Befehl aus einem fremden Modul ausgeführt werden soll (hier der Befehl "Line" aus dem Modul "Write"), dann wird der Name in einer sogenannten qualifizierten Form angegeben: Modulname, gefolgt von einem Punkt, gefolgt von dem Namen des Befehls.
- Allerdings ersetzt in Oberon der Begriff Prozedur den des Befehls.
- Die Prozedur "Write.Line" gibt eine als Parameter übergebene Zeichenkette aus und fügt noch einen Zeilentrenner in der Ausgabe hinzu.

Dokumentation zu Modulen

- Zu (fast) allen Modulen der Oberon-Bibliothek gibt es Manualseiten, die sich beispielsweise mit “man Write” abrufen lassen.
- Im Web findet sich auch ein Gesamtüberblick unter
  `http://www.mathematik.uni-ulm.de/oberon/0.5/lib/man/`
- Die Manualseiten und sämtliche Programmtexte (auch Quellen genannt) finden sich auch allesamt in unserem Oberon-Paket für Linux. Mehr Hinweise dazu gibt es unter
  `http://www.mathematik.uni-ulm.de/sai/ws04/prog/ulm-oberon-i386/`

Grammatiken

- Es sei ein Vokabular V_T gegeben das aus einer endlichen Menge von lexikalischen Symbolen besteht. (Lexikalische Symbole werden auch Terminal-Symbole genannt, daher die Bezeichnung V_T).

- Die Menge V_T^* ist dann die Menge aller endlichen Folgen aus Symbolen aus V_T, einschließlich der leeren Folge.

- Eine Sprache S auf Basis des Vokabulars V_T ist dann eine Teilmenge von V_T^*.

- Problem: Wie kann die Menge S mit endlichem Aufwand definiert werden, wenn S unendlich viele Folgen enthält?

- Lösung: Es werden Grammatiken verwendet, die aus endlich vielen Bauvorschriften (genannt Produktionen) bestehen, die rekursiv jede Folge aus S konstruieren können.

Produktionen

- Produktionen sind Ersetzungsregeln in der Form

$$\langle \mathsf{A} \rangle \quad \longrightarrow \quad \alpha$$

- Auf der linken Seite steht genau ein sogenanntes Nicht-Terminal-Symbol (hier $\langle \mathsf{A} \rangle \in V_N$). Es gilt: $V_T \cap V_N = \emptyset$.

- Die Nicht-Terminal-Symbole dienen als Bezeichnung komplexerer "Bauteile", die aus kleineren Teilen zusammengesetzt sind. Ihnen werden normalerweise Namen gegeben, die das "Bauteil" beschreiben.

- Die rechte Seite besteht aus einer Sequenz von Terminal oder Non-Terminal-Symbolen: $\alpha \in V^*$. Diese Sequenz kann auch die Länge 0 haben.

- Griechische Buchstaben stehen für Sequenzen von Symbolen aus V^*.

- ϵ steht für eine Folge der Länge 0.

Grammatiken

Eine Grammatik G ist ein 4-Tupel (V_T, V_N, P, S):

- V_T ist die endliche Menge der lexikalischen Symbole (Terminal-Symbole).
- V_N ist die endliche Menge der Nicht-Terminal-Symbole.
- $V_T \ \cap \ V_N \ = \ \emptyset$.
- P repräsentiert die Produktionen und ist eine endliche Teilmenge aus $V_N \times V^*$.
- Statt der Tupel-Notation $(\langle \mathsf{A} \rangle, \alpha) \in P$ wird die Ersetzungsregelform $\langle \mathsf{A} \rangle \ \longrightarrow \ \alpha$ verwendet.
- $\forall \langle \mathsf{A} \rangle \in V_N : \ \exists \ \alpha : \ (\langle \mathsf{A} \rangle, \alpha) \in P$.
  (Für jedes Nicht-Terminal-Symbol gibt es mindestens eine Produktionsregel, bei der das Symbol auf der linken Seite verwendet wird).
- $S \in V_N$ ist das Startsymbol.

Sätze und Sprachen

Gegeben sei eine Grammatik $G = (V_T, V_N, P, S)$:

- α **produziert** β direkt: $\boxed{\alpha \ \rightarrow \ \beta}$
  falls sich α und β folgendermaßen zusammensetzen

  $$\begin{array}{rcll} \alpha & = & \gamma \ \langle \mathsf{A} \rangle \ \delta & \alpha, \beta, \gamma, \delta \in V^*, \ \langle \mathsf{A} \rangle \in V_N \\ \beta & = & \gamma \ \omega \ \delta & \omega \in V^* \end{array}$$

  und wenn es eine Produktion $\langle \mathsf{A} \rangle \longrightarrow \omega$ gibt.

- α **produziert** β: $\boxed{\alpha \ \rightarrow^+ \ \beta}$
  falls es $\omega_1, \omega_2, ..., \omega_n \in V^*$ gibt, so daß

  $$\alpha \rightarrow \omega_1 \rightarrow \omega_2 \rightarrow ... \rightarrow \omega_n \rightarrow \beta$$

  Man schreibt $\boxed{\alpha \ \rightarrow^* \ \beta}$, wenn $\alpha = \beta$ zulässig ist.

- **Satzform** für eine Grammatik:
  Jede Folge α mit $S \rightarrow^* \alpha$ für $\alpha \in V^*$, S Startsymbol.

- **Satz** für eine Grammatik:
  Jede Satzform $\alpha \in V_T^*$.

- **Sprache**, erzeugt von einer Grammatik:
  Die Menge aller möglichen Sätze.

Beispiel: Gleitkommazahlen

- Verbale Beschreibung: Eine Gleitkommazahl besteht aus einer nicht-leeren Folge von Ziffern, optional gefolgt von einem Komma und einer weiteren nicht-leeren Folge von Ziffern.

- $V_T = \{$ "0" , "1" , "2" , "3" , "4" , "5" , "6" , "7" , "8" , "9" , "," $\}$

- $V_N = \{\langle$Gleitkommazahl$\rangle$, $\langle$Vorkommastellen$\rangle$, $\langle$Nachkommastellen$\rangle$, $\langle$Ziffernfolge$\rangle$, $\langle$Ziffer$\rangle\}$

- Produktionsregeln P:

$$
\begin{array}{rcl}
\langle\text{Gleitkommazahl}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Vorkommastellen}\rangle\ \langle\text{Nachkommastellen}\rangle \\
\langle\text{Vorkommastellen}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Ziffernfolge}\rangle \\
\langle\text{Nachkommastellen}\rangle & \longrightarrow & \epsilon \\
\langle\text{Nachkommastellen}\rangle & \longrightarrow & \text{``,''}\,\langle\text{Ziffernfolge}\rangle \\
\langle\text{Ziffernfolge}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Ziffer}\rangle \\
\langle\text{Ziffernfolge}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Ziffer}\rangle\ \langle\text{Ziffernfolge}\rangle \\
\langle\text{Ziffer}\rangle & \longrightarrow & \text{``0''} \\
 & \ldots & \\
\langle\text{Ziffer}\rangle & \longrightarrow & \text{``9''}
\end{array}
$$

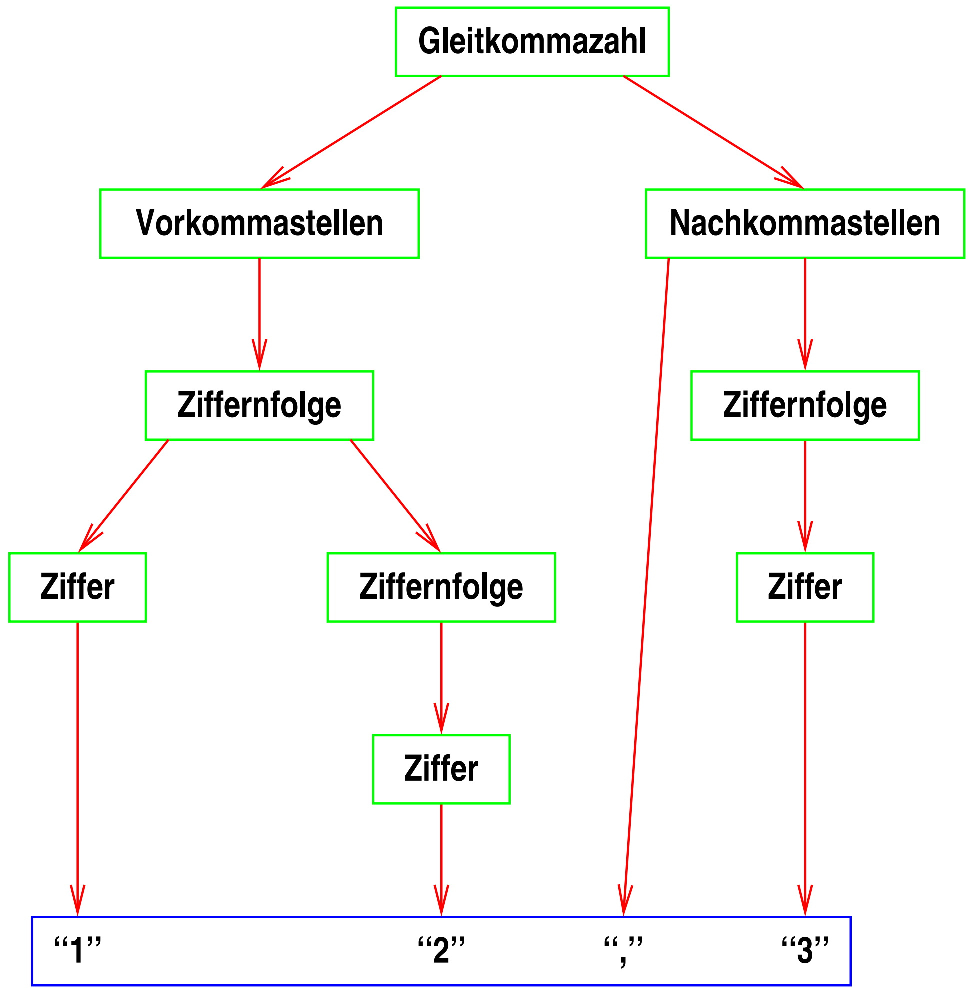
- Startsymbol $S = \langle$Gleitkommazahl$\rangle$

Beispiel: Gleitkommazahlen

- Behauptung: “12,3” ist ein Satz.
- Beweis durch die Angabe der entsprechenden Ableitung:

$$
\begin{array}{lll}
\langle\text{Gleitkommazahl}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Vorkommastellen}\rangle\ \langle\text{Nachkommastellen}\rangle \\
 & \longrightarrow & \langle\text{Ziffernfolge}\rangle\ \langle\text{Nachkommastellen}\rangle \\
 & \longrightarrow & \langle\text{Ziffer}\rangle\ \langle\text{Ziffernfolge}\rangle\ \langle\text{Nachkommastellen}\rangle \\
 & \longrightarrow & \text{“1”}\ \ \langle\text{Ziffernfolge}\rangle\ \langle\text{Nachkommastellen}\rangle \\
 & \longrightarrow & \text{“1”}\ \ \langle\text{Ziffer}\rangle\ \langle\text{Nachkommastellen}\rangle \\
 & \longrightarrow & \text{“1”}\ \ \text{“2”}\ \ \langle\text{Nachkommastellen}\rangle \\
 & \longrightarrow & \text{“1”}\ \ \text{“2”}\ \ \text{“,”}\ \ \langle\text{Ziffernfolge}\rangle \\
 & \longrightarrow & \text{“1”}\ \ \text{“2”}\ \ \text{“,”}\ \ \langle\text{Ziffer}\rangle \\
 & \longrightarrow & \text{“1”}\ \ \text{“2”}\ \ \text{“,”}\ \ \text{“3”}
\end{array}
$$

Beispiel: Gleitkommazahlen



- Durch die Ableitung ergibt sich eine hierarchische Struktur, die graphisch dargestellt werden kann.

- Grammatiken dienen nicht nur zur Klärung, ob eine Folge aus V_T zu Sprache gehört, sondern liefern auch Erfolgsfalle auch eine Struktur.

- Allerdings sind manche Grammatiken mehrdeutig, d.h. sie bieten mehrere Ableitungen für einen Satz an.

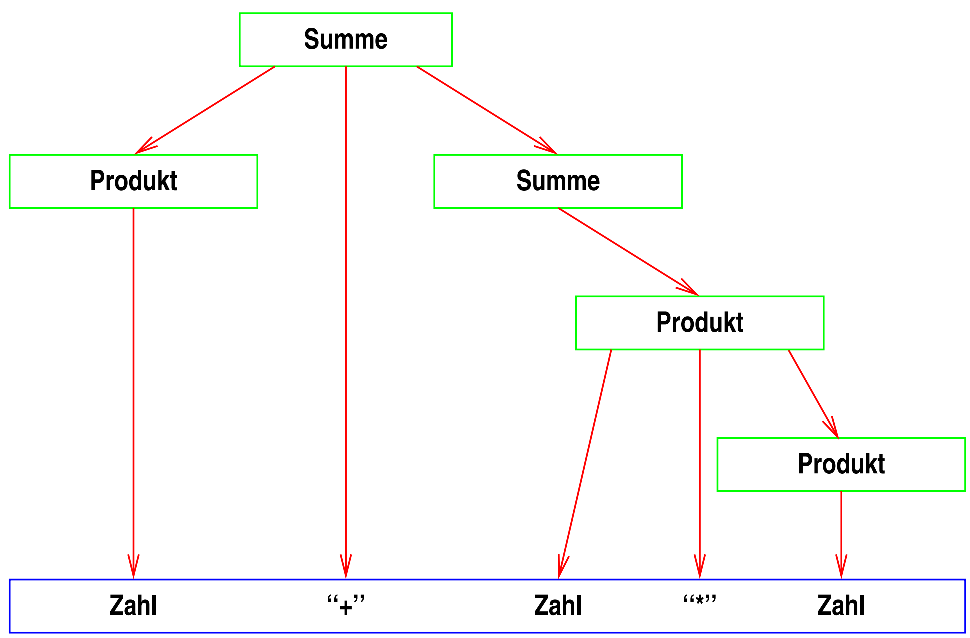
Beispiel: Einfache Ausdrücke

- $V_T = \{\langle\text{Zahl}\rangle, \text{``}+\text{''}, \text{``}*\text{''}\}$
- $V_N = \{\langle\text{Summe}\rangle, \langle\text{Produkt}\rangle\}$
- Produktionsregeln P:

$$
\begin{array}{rcl}
\langle\text{Summe}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Produkt}\rangle \\
\langle\text{Summe}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Produkt}\rangle\ \text{``}+\text{''}\ \langle\text{Summe}\rangle \\
\langle\text{Produkt}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Zahl}\rangle \\
\langle\text{Produkt}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Zahl}\rangle\ \text{``}*\text{''}\ \langle\text{Produkt}\rangle
\end{array}
$$

- Startsymbol $S = \langle\text{Summe}\rangle$

Beispiel: Einfache Ausdrücke



- Grammatiken können durch die Ableitungsstruktur festlegen, welche Operanden ein Operator erhält.

- In diesem konkreten Beispiel wird die Multiplikation zuerst durchgeführt, bevor es zur Addition kommt.

Backus-Naur-Form

- 1960 wurde von John Backus und Peter Naur bei der Beschreibung von Algol-60 zum ersten Male eine formale Grammatik für eine Programmiersprache spezifiziert.

- Bei der formalen Notation von Backus und Naur (kurz BNF = Backus-Naur-Form genannt) kommt zur Verringerung der Anzahl der Produktionsregeln noch "|" als Alternativsymbol hinzu.

- Die Kurzform $\langle \mathsf{A} \rangle \longrightarrow \alpha \mid \beta$ ist dabei äquivalent zu

$$\begin{array}{lcl} \langle \mathsf{A} \rangle & \longrightarrow & \alpha \\ \langle \mathsf{A} \rangle & \longrightarrow & \beta \end{array}$$

Erweiterte Backus-Naur-Form

Die erweiterte Backus-Naur-Form (EBNF) fügt weitere Notationen hinzu, um die Zahl der Produktionsregeln weiter reduzieren zu können:

- Optionalität: $\langle \mathsf{A} \rangle \longrightarrow \alpha\ [\ \beta\ ]\ \gamma$ entspricht

$$\begin{array}{rcl} \langle \mathsf{A} \rangle & \longrightarrow & \alpha\ \langle \mathsf{A}' \rangle\ \gamma \\ \langle \mathsf{A}' \rangle & \longrightarrow & \beta \mid \epsilon \end{array}$$

- Wiederholung (0 bis beliebig oft): $\langle \mathsf{A} \rangle \longrightarrow \alpha\ \{\ \beta\ \}\ \gamma$ entspricht

$$\begin{array}{rcl} \langle \mathsf{A} \rangle & \longrightarrow & \alpha\ \langle \mathsf{A}' \rangle \\ \langle \mathsf{A}' \rangle & \longrightarrow & \beta\ \langle \mathsf{A}' \rangle \mid \gamma \end{array}$$

- Klammerung: $\langle \mathsf{A} \rangle \longrightarrow \alpha\ (\ \beta \mid \gamma\ )\ \delta$ entspricht

$$\begin{array}{rcl} \langle \mathsf{A} \rangle & \longrightarrow & \alpha\ \langle \mathsf{A}' \rangle\ \delta \\ \langle \mathsf{A}' \rangle & \longrightarrow & \beta \mid \gamma \end{array}$$

- Durch die Verwendung von EBNF geht ein Teil der Struktur verloren, die mit BNF noch zum Ausdruck kam.

Die Grammatik von EBNF

- $V_T = \{\langle\text{Symbol}\rangle, \text{“} \longrightarrow \text{”}, \text{“} \mid \text{”}, \text{“[”}, \text{“]”}, \text{“\{”}, \text{“\}”}, \text{“(”}, \text{“)”}\}$
- $V_N = \{\langle\text{Produktionsregeln}\rangle, \langle\text{Produktionsregel}\rangle,$
  $\langle\text{Alternativen}\rangle, \langle\text{Sequenz}\rangle, \langle\text{Element}\rangle\}$
- Produktionsregeln P:

$$
\begin{array}{rcl}
\langle\text{Produktionsregeln}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Produktionsregel}\rangle \\
\langle\text{Produktionsregeln}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Produktionsregel}\rangle\ \langle\text{Produktionsregeln}\rangle \\
\langle\text{Produktionsregel}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Symbol}\rangle \text{ “} \longrightarrow \text{” } \langle\text{Alternativen}\rangle \\
\langle\text{Alternativen}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Sequenz}\rangle \\
\langle\text{Alternativen}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Sequenz}\rangle\ \text{“} \mid \text{”}\ \langle\text{Alternativen}\rangle \\
\langle\text{Sequenz}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Element}\rangle \\
\langle\text{Sequenz}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Element}\rangle\ \langle\text{Sequenz}\rangle \\
\langle\text{Element}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Symbol}\rangle \\
\langle\text{Element}\rangle & \longrightarrow & \text{“(”}\ \langle\text{Alternativen}\rangle\ \text{“)”} \\
\langle\text{Element}\rangle & \longrightarrow & \text{“[”}\ \langle\text{Alternativen}\rangle\ \text{“]”} \\
\langle\text{Element}\rangle & \longrightarrow & \text{“\{”}\ \langle\text{Alternativen}\rangle\ \text{“\}”}
\end{array}
$$

- Startsymbol $S \;=\; \langle\text{Produktionsregeln}\rangle$

Die Grammatik von Oberon

- $V_T = \{$ “ARRAY”, “BEGIN”, “CASE”, “CONST”, “DEFINITION”, “DIV”, “DO”, “ELSE”, “ELSIF”, “END”, “EXIT”, “FOR”, “IF”, “IMPORT”, “IN”, “IS”, “LOOP”, “MOD”, “MODULE”, “NIL”, “OF”, “OR”, “POINTER”, “PROCEDURE”, “RECORD”, “REPEAT”, “RETURN”, “THEN”, “TO”, “TYPE”, “UNTIL”, “VAR”, “WHILE”, “WITH”, “+”, “–”, “*”, “/”, “ $\sim$ ”, “&”, “.”, “,”, “;”, “ | ”, “(”, “[”, “{”, “:=”, “ $\uparrow$ ”, “=”, “#”, “<”, “>”, “<=”, “>=”, “:”, “)”, “]”, “}”, “..”, “:=”, “<=”, “>=”, ⟨CharConstant⟩, ⟨Ident⟩, ⟨Number⟩, ⟨String⟩$\}$

- $V_N = \{$⟨ActualParameters⟩, ⟨AddOperator⟩, ⟨ArrayType⟩, ⟨Assignment⟩, ⟨BaseType⟩, ⟨CaseLabelList⟩, ⟨CaseLabels⟩, ⟨CaseStatement⟩, ⟨Case⟩, ⟨CompilationUnit⟩, ⟨ConstExpression⟩, ⟨ConstantDeclaration⟩, ⟨DeclarationSequence⟩, ⟨DefSequence⟩, ⟨Definition⟩, ⟨Designator⟩, ⟨Element⟩, ⟨ExpList⟩, ⟨Expression⟩, ⟨FPSection⟩, ⟨Factor⟩, ⟨FieldListSequence⟩, ⟨FieldList⟩, ⟨FormalParameters⟩, ⟨FormalType⟩, ⟨ForwardDeclaration⟩, ⟨IdentList⟩, ⟨IfStatement⟩, ⟨ImportList⟩, ⟨Import⟩, ⟨Length⟩, ⟨LoopStatement⟩, ⟨Module⟩, ⟨MulOperator⟩, ⟨PointerType⟩, ⟨ProcedureBody⟩, ⟨ProcedureCall⟩, ⟨ProcedureDeclaration⟩, ⟨ProcedureHeading⟩, ⟨ProcedureType⟩, ⟨QualIdent⟩, ⟨RecordType⟩, ⟨Relation⟩, ⟨RepeatStatement⟩, ⟨Set⟩, ⟨SimpleExpression⟩, ⟨StatementSequence⟩, ⟨Statement⟩, ⟨Term⟩, ⟨TypeDeclaration⟩, ⟨Type⟩, ⟨VariableDeclaration⟩, ⟨WhileStatement⟩, ⟨WithStatement⟩$\}$

Die Grammatik von Oberon

- Produktionsregeln P (in EBNF):

$$
\begin{array}{rcl}
\langle\text{CompilationUnit}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Module}\rangle \mid \langle\text{Definition}\rangle \\
\langle\text{Definition}\rangle & \longrightarrow & \text{“DEFINITION”}\,\langle\text{Ident}\rangle\,\text{“;”} \\
 & & [\langle\text{ImportList}\rangle]\ \langle\text{DefSequence}\rangle \\
 & & \text{“END”}\,\langle\text{Ident}\rangle\,\text{“.”} \\
\langle\text{ImportList}\rangle & \longrightarrow & \text{“IMPORT”}\ \langle\text{Import}\rangle \\
 & & \{\ \text{“,”}\ \langle\text{Import}\rangle\ \}\ \text{“;”} \\
\langle\text{Import}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Ident}\rangle\ [\text{“:=”}\,\langle\text{Ident}\rangle] \\
\langle\text{DefSequence}\rangle & \longrightarrow & \{\ \text{“CONST”} \\
 & & \{\ \langle\text{ConstantDeclaration}\rangle\ \text{“;”}\ \}\ \mid \\
 & & \text{“TYPE”}\ \{\ \langle\text{TypeDeclaration}\rangle\ \text{“;”}\ \}\ \mid \\
 & & \text{“VAR”}\ \{\ \langle\text{VariableDeclaration}\rangle\ \text{“;”}\ \}\ \} \\
 & & \{\ \langle\text{ProcedureHeading}\rangle\ \text{“;”}\ \} \\
\langle\text{Module}\rangle & \longrightarrow & \text{“MODULE”}\ \langle\text{Ident}\rangle\ \text{“;”} \\
 & & [\langle\text{ImportList}\rangle]\ \langle\text{DeclarationSequence}\rangle \\
 & & [\text{“BEGIN”}\ \langle\text{StatementSequence}\rangle] \\
 & & \text{“END”}\ \langle\text{Ident}\rangle\ \text{“.”} \\
\langle\text{DeclarationSequence}\rangle & \longrightarrow & \{\ \text{“CONST”} \\
 & & \{\ \langle\text{ConstantDeclaration}\rangle\,\text{“;”}\ \}\ \mid \\
 & & \text{“TYPE”}\ \{\ \langle\text{TypeDeclaration}\rangle\,\text{“;”}\ \}\ \mid \\
 & & \text{“VAR”}\ \{\ \langle\text{VariableDeclaration}\rangle\,\text{“;”}\ \}\ \} \\
 & & \{\ \langle\text{ProcedureDeclaration}\rangle\,\text{“;”}\ \mid \\
 & & \langle\text{ForwardDeclaration}\rangle\,\text{“;”}\ \}
\end{array}
$$

Die Grammatik von Oberon

- Produktionsregeln P (in EBNF, Fortsetzung):

$$
\begin{array}{rcl}
\langle\text{ConstantDeclaration}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Ident}\rangle\ \text{“=”}\ \langle\text{ConstExpression}\rangle \\
\langle\text{ConstExpression}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Expression}\rangle \\
\langle\text{TypeDeclaration}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Ident}\rangle\ \text{“=”}\ \langle\text{Type}\rangle \\
\langle\text{VariableDeclaration}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{IdentList}\rangle\ \text{“:”}\ \langle\text{Type}\rangle \\
\langle\text{IdentList}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Ident}\rangle\ \{\ \text{“,”}\langle\text{Ident}\rangle\ \} \\
\langle\text{ProcedureDeclaration}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{ProcedureHeading}\rangle\ \text{“;”} \\
 & & \langle\text{ProcedureBody}\rangle\ \langle\text{Ident}\rangle \\
\langle\text{ProcedureHeading}\rangle & \longrightarrow & \text{“PROCEDURE”}\,[\text{“}{*}\text{”}]\ \langle\text{Ident}\rangle \\
 & & [\langle\text{FormalParameters}\rangle] \\
\langle\text{ForwardDeclaration}\rangle & \longrightarrow & \text{“PROCEDURE”}\ \text{“}\uparrow\text{”}\ \langle\text{Ident}\rangle \\
 & & [\langle\text{FormalParameters}\rangle] \\
\langle\text{FormalParameters}\rangle & \longrightarrow & \text{“(”}\ [\ \langle\text{FPSection}\rangle \\
 & & \{\ \text{“;”}\langle\text{FPSection}\rangle\ \}\ ]\,\text{“)”} \\
 & & [\text{“:”}\ \langle\text{QualIdent}\rangle] \\
\langle\text{FPSection}\rangle & \longrightarrow & [\text{“VAR”}]\ \langle\text{IdentList}\rangle\ \text{“:”}\langle\text{FormalType}\rangle \\
\langle\text{FormalType}\rangle & \longrightarrow & \{\text{“ARRAY”}\ \ \text{“OF”}\}\ \langle\text{QualIdent}\rangle \\
\langle\text{QualIdent}\rangle & \longrightarrow & [\langle\text{Ident}\rangle\,\text{“.”}]\ \langle\text{Ident}\rangle \\
\langle\text{ProcedureBody}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{DeclarationSequence}\rangle \\
 & & [\text{“BEGIN”}\,\langle\text{StatementSequence}\rangle] \\
 & & \text{“END”}
\end{array}
$$

Die Grammatik von Oberon

- Produktionsregeln P (in EBNF, Fortsetzung):

$$
\begin{array}{rcl}
\langle\text{Expression}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{SimpleExpression}\rangle \\
 & & [\langle\text{Relation}\rangle\ \langle\text{SimpleExpression}\rangle] \\
\langle\text{Relation}\rangle & \longrightarrow & \text{``=''} \mid \text{``\#''} \mid \text{``<''} \mid \text{``<=''} \mid \text{``>''} \mid \text{``>=''} \mid \text{``IN''} \mid \text{``IS''} \\
\langle\text{SimpleExpression}\rangle & \longrightarrow & [\text{``+''} \mid \text{``-''}]\ \langle\text{Term}\rangle \\
 & & \{\ \langle\text{AddOperator}\rangle\ \langle\text{Term}\rangle\ \} \\
\langle\text{AddOperator}\rangle & \longrightarrow & \text{``+''} \mid \text{``-''} \mid \text{``OR''} \\
\langle\text{Term}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Factor}\rangle \\
 & & \{\ \langle\text{MulOperator}\rangle\ \langle\text{Factor}\rangle\ \} \\
\langle\text{MulOperator}\rangle & \longrightarrow & \text{``*''} \mid \text{``/''} \mid \text{``DIV''} \mid \text{``MOD''} \mid \text{``\&''} \\
\langle\text{Factor}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Number}\rangle \mid \langle\text{CharConstant}\rangle \mid \langle\text{String}\rangle \mid \\
 & & \text{``NIL''} \mid \langle\text{Set}\rangle \mid \\
 & & \langle\text{Designator}\rangle\ [\langle\text{ActualParameters}\rangle] \mid \\
 & & \text{``(''}\,\langle\text{Expression}\rangle\,\text{``)''} \mid \\
 & & \text{``}\sim\text{''}\,\langle\text{Factor}\rangle \\
\langle\text{Set}\rangle & \longrightarrow & \text{``\{''}\ [\langle\text{Element}\rangle\ \{\ \text{``,''}\ \langle\text{Element}\rangle\ \}\ ]\ \text{``\}''} \\
\langle\text{Element}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Expression}\rangle\ [\text{``..''}\,\langle\text{Expression}\rangle] \\
\langle\text{ActualParameters}\rangle & \longrightarrow & \text{``(''}\ [\langle\text{ExpList}\rangle]\ \text{``)''} \\
\langle\text{ExpList}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Expression}\rangle\ \{\ \text{``,''}\ \langle\text{Expression}\rangle\ \} \\
\langle\text{Designator}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{QualIdent}\rangle\ \{\ \text{``.''}\,\langle\text{Ident}\rangle \mid \\
 & & \text{``[''}\,\langle\text{ExpList}\rangle\,\text{``]''} \mid \\
 & & \text{``(''}\,\langle\text{QualIdent}\rangle\,\text{``)''} \mid \text{``}\uparrow\text{''}\ \}
\end{array}
$$

Die Grammatik von Oberon

- Produktionsregeln P (in EBNF, Fortsetzung):

$$
\begin{array}{rcl}
\langle\text{Type}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{QualIdent}\rangle \mid \langle\text{ArrayType}\rangle \mid \langle\text{RecordType}\rangle \mid \\
 & & \langle\text{PointerType}\rangle \mid \langle\text{ProcedureType}\rangle \\
\langle\text{ArrayType}\rangle & \longrightarrow & \text{“ARRAY”}\ \langle\text{Length}\rangle\ \{\ \text{“,”}\ \langle\text{Length}\rangle\ \} \\
 & & \text{“OF”}\,\langle\text{Type}\rangle \\
\langle\text{Length}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{ConstExpression}\rangle \\
\langle\text{RecordType}\rangle & \longrightarrow & \text{“RECORD”}\ [\ \text{“(”}\,\langle\text{BaseType}\rangle\ \text{“)”}\ ] \\
 & & \langle\text{FieldListSequence}\rangle\,\text{“END”} \\
\langle\text{BaseType}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{QualIdent}\rangle \\
\langle\text{FieldListSequence}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{FieldList}\rangle\ \{\ \text{“;”}\,\langle\text{FieldList}\rangle\ \} \\
\langle\text{FieldList}\rangle & \longrightarrow & [\langle\text{IdentList}\rangle\ \text{“:”}\ \langle\text{Type}\rangle] \\
\langle\text{PointerType}\rangle & \longrightarrow & \text{“POINTER”}\ \ \text{“TO”}\,\langle\text{Type}\rangle \\
\langle\text{ProcedureType}\rangle & \longrightarrow & \text{“PROCEDURE”}\ \ [\langle\text{FormalParameters}\rangle]
\end{array}
$$

Die Grammatik von Oberon

- Produktionsregeln P (in EBNF, Fortsetzung):

$$
\begin{array}{rcl}
\langle\text{StatementSequence}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Statement}\rangle\ \{\ \text{“;”}\,\langle\text{Statement}\rangle\ \} \\
\langle\text{Statement}\rangle & \longrightarrow & [\ \langle\text{Assignment}\rangle \mid \\
 & & \langle\text{ProcedureCall}\rangle \mid \\
 & & \langle\text{IfStatement}\rangle \mid \\
 & & \langle\text{CaseStatement}\rangle \mid \\
 & & \langle\text{WhileStatement}\rangle \mid \\
 & & \langle\text{RepeatStatement}\rangle \mid \\
 & & \langle\text{LoopStatement}\rangle \mid \\
 & & \langle\text{WithStatement}\rangle \mid \\
 & & \text{“EXIT”} \mid \\
 & & \text{“RETURN”}\ [\langle\text{Expression}\rangle]\ ] \\
\langle\text{Assignment}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Designator}\rangle\,\text{“:=”}\,\langle\text{Expression}\rangle \\
\langle\text{ProcedureCall}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Designator}\rangle\ [\langle\text{ActualParameters}\rangle]
\end{array}
$$

Die Grammatik von Oberon

- Produktionsregeln P (in EBNF, Fortsetzung):

$$
\begin{array}{rcl}
\langle\text{IfStatement}\rangle & \longrightarrow & \text{“IF”}\ \langle\text{Expression}\rangle\ \text{“THEN”} \\
 & & \langle\text{StatementSequence}\rangle \\
 & & \{\ \text{“ELSIF”}\ \langle\text{Expression}\rangle\ \text{“THEN”} \\
 & & \langle\text{StatementSequence}\rangle\ \} \\
 & & [\ \text{“ELSE”}\langle\text{StatementSequence}\rangle\ ] \\
 & & \text{“END”} \\
\langle\text{CaseStatement}\rangle & \longrightarrow & \text{“CASE”}\ \langle\text{Expression}\rangle\text{“OF”} \\
 & & \langle\text{Case}\rangle\ \{\ \text{“}\,|\,\text{”}\langle\text{Case}\rangle\ \} \\
 & & [\ \text{“ELSE”}\langle\ \text{StatementSequence}\rangle\ ] \\
 & & \text{“END”} \\
\langle\text{Case}\rangle & \longrightarrow & [\ \langle\text{CaseLabelList}\rangle\ \text{“:”}\langle\text{StatementSequence}\rangle\ ] \\
\langle\text{CaseLabelList}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{CaseLabels}\rangle\ \{\ \text{“,”}\langle\text{CaseLabels}\rangle\ \} \\
\langle\text{CaseLabels}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{ConstExpression}\rangle\ [\ \text{“..”}\langle\text{ConstExpression}\rangle\ ]
\end{array}
$$

Die Grammatik von Oberon

- Produktionsregeln P (in EBNF, Fortsetzung):

$$
\begin{array}{rcl}
\langle\text{WhileStatement}\rangle & \longrightarrow & \text{“WHILE”}\ \langle\text{Expression}\rangle\ \text{“DO”} \\
 & & \langle\text{StatementSequence}\rangle \\
 & & \text{“END”} \\
\langle\text{RepeatStatement}\rangle & \longrightarrow & \text{“REPEAT”} \\
 & & \langle\text{StatementSequence}\rangle \\
 & & \text{“UNTIL”}\ \langle\text{Expression}\rangle \\
\langle\text{LoopStatement}\rangle & \longrightarrow & \text{“LOOP”} \\
 & & \langle\text{StatementSequence}\rangle \\
 & & \text{“END”} \\
\langle\text{WithStatement}\rangle & \longrightarrow & \text{“WITH”}\,\langle\text{QualIdent}\rangle\,\text{“:”}\,\langle\text{QualIdent}\rangle\,\text{“DO”} \\
 & & \langle\text{StatementSequence}\rangle \\
 & & \text{“END”}
\end{array}
$$

- Startsymbol $S = \langle\text{CompilationUnit}\rangle$

Ableitungsbeispiel für Oberon

Hallo.om

```
MODULE Hallo;
   IMPORT Write;
BEGIN
   Write.Line("Hallo, wie geht es?");
END Hallo.
```

$$
\begin{array}{rcl}
\langle\text{CompilationUnit}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Module}\rangle \\
 & \longrightarrow & \text{“MODULE”}\ \langle\text{Ident}\rangle\ \text{“;”} \\
 & & [\langle\text{ImportList}\rangle]\ \langle\text{DeclarationSequence}\rangle \\
 & & [\text{“BEGIN”}\ \langle\text{StatementSequence}\rangle] \\
 & & \text{“END”}\ \langle\text{Ident}\rangle\ \text{“.”} \\
 & \longrightarrow & \text{“MODULE”}\ \langle\text{Ident}\rangle\ \text{“;”}\langle\text{ImportList}\rangle \\
 & & \text{“BEGIN”}\ \langle\text{StatementSequence}\rangle \\
 & & \text{“END”}\ \langle\text{Ident}\rangle\ \text{“.”} \\
\langle\text{ImportList}\rangle & \longrightarrow & \text{“IMPORT”}\ \langle\text{Import}\rangle \\
 & & \{\ \text{“,”}\ \langle\text{Import}\rangle\ \}\ \text{“;”} \\
 & \longrightarrow & \text{“IMPORT”}\ \langle\text{Import}\rangle\ \text{“;”} \\
 & \longrightarrow & \text{“IMPORT”}\ \langle\text{Ident}\rangle\ [\text{“:=”}\langle\text{Ident}\rangle]\,\text{“;”} \\
 & \longrightarrow & \text{“IMPORT”}\ \langle\text{Ident}\rangle\ \text{“;”} \\
\langle\text{StatementSequence}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Statement}\rangle\ \{\ \text{“;”}\langle\text{Statement}\rangle\ \} \\
 & \longrightarrow & \langle\text{Statement}\rangle \\
 & \longrightarrow & \langle\text{ProcedureCall}\rangle \\
 & \longrightarrow & \langle\text{Designator}\rangle\ [\langle\text{ActualParameters}\rangle] \\
 & \longrightarrow & \langle\text{QualIdent}\rangle\ \langle\text{ActualParameters}\rangle \\
 & \longrightarrow & [\langle\text{Ident}\rangle\,\text{“.”}]\ \langle\text{Ident}\rangle\langle\text{ActualParameters}\rangle \\
 & \longrightarrow & \langle\text{Ident}\rangle\,\text{“.”}\ \langle\text{Ident}\rangle\langle\text{ActualParameters}\rangle
\end{array}
$$

Ableitungsbeispiel für Oberon

Hallo.om

```
MODULE Hallo;
   IMPORT Write;
BEGIN
   Write.Line("Hallo, wie geht es?");
END Hallo.
```

⟨ActualParameters⟩	⟶	“(” [⟨ExpList⟩] “)”
	⟶	“(” ⟨ExpList⟩ “)”
	⟶	“(” ⟨Expression⟩ “)”
	⟶	“(” ⟨SimpleExpression⟩ “)”
	⟶	“(” ⟨Term⟩ “)”
	⟶	“(” ⟨Factor⟩ “)”
	⟶	“(” ⟨String⟩ “)”
⟨CompilationUnit⟩	⟶	“MODULE” ⟨Ident⟩ “;” ⟨ImportList⟩ “BEGIN” ⟨StatementSequence⟩ “END” ⟨Ident⟩ “.”
	⟶	“MODULE” ⟨Ident⟩ “;” “IMPORT” ⟨Ident⟩ “;” “BEGIN” ⟨Ident⟩ “.” ⟨Ident⟩ “(” ⟨String⟩ “)” “END” ⟨Ident⟩ “.”

Variablen

- Speicherzellen stehen in beliebigem Umfange zur Verfügung, soweit ausreichend Speicher und Adreßraum vorhanden sind.
- Anders als in Redcode oder anderen maschinennahen Programmiersprachen bleibt dem Programmierer in Oberon (weitgehend) verborgen, welche konkrete Adresse eine Speicherzelle hat.
- Statt über Adressen werden innerhalb von Oberon Speicherzellen ausschließlich über Variablennamen angesprochen.
- Entsprechend wird in Oberon der Begriff Variable für Speicherzellen verwendet.
- Bei Redcode gab es keine unterschiedlichen Sorten an Speicherzellen. Das ist in Oberon anders. Hier ist jeder Variablen ein Typ zugeordnet.
- Typische Typen sind beispielsweise ganze Zahlen (**INTEGER**), Gleitkommazahlen (**REAL**) und Zeichen (**CHAR**). Innerhalb von Oberon können auch neue Typen definiert werden.
- Die interne Repräsentierung einer Variablen wird in Oberon nur entsprechend ihres Typs interpretiert.
- Oberon hat ein sicheres Typsystem, d.h. eine Variable vom Typ (**INTEGER**) kann nicht versehentlich als Variable vom Typ (**REAL**) behandelt werden.

Beispiel: Summe zweier Zahlen

Sum.om

```
(* Description: Read two integer values and print their sum
   Author:      Andreas Borchert
*)
MODULE Sum;

   IMPORT Read, Write;

   VAR
      a, b: INTEGER; (* input values *)
      sum: INTEGER; (* sum of a + b *)

BEGIN
   (* read input values *)
   Write.String("a = "); Read.Int(a);
   Write.String("b = "); Read.Int(b);
   sum := a + b;
   (* print result *)
   Write.String("sum = "); Write.Int(sum, 1); Write.Ln;
END Sum.
```

- Variablendeklarationen beginnen mit dem Schlüsselwort **VAR**.
- Variablennamen sollten immer mit einem Kleinbuchstaben beginnen.
- **INTEGER** ist ein vorgegebener Typ, der für eine ganze Zahl steht. Bei uns kann dieser Typ Werte aus dem Intervall $[-2147483648, 2147483647]$ repräsentieren.

Variablendeklarationen

Sum.om

```
VAR
    a, b: INTEGER; (* input values *)
    sum: INTEGER; (* sum of a + b *)
```

- Syntax für Variablendeklarationen:

$$
\begin{array}{lcl}
\langle\text{DeclarationSequence}\rangle & \longrightarrow & \{\ \text{“CONST”} \\
& & \{\ \langle\text{ConstantDeclaration}\rangle\ \text{“;”}\ \}\ \mid \\
& & \text{“TYPE”}\ \{\ \langle\text{TypeDeclaration}\rangle\ \text{“;”}\ \}\ \mid \\
& & \text{“VAR”}\ \{\ \langle\text{VariableDeclaration}\rangle\ \text{“;”}\ \}\ \} \\
& & \ \{\ \langle\text{ProcedureDeclaration}\rangle\ \text{“;”}\ \mid \\
& & \langle\text{ForwardDeclaration}\rangle\ \text{“;”}\ \} \\
\langle\text{VariableDeclaration}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{IdentList}\rangle\ \ \text{“:”}\ \ \langle\text{Type}\rangle
\end{array}
$$

- Im Beispiel werden drei Variablen, genannt **a**, **b** und **sum**, vom Typ **INTEGER** deklariert.

- Unter Verwendung einer ⟨IdentList⟩ können gleich mehrere Variablen deklariert werden, ohne den Typen jeweils wiederholen zu müssen. Diese Notation sollte aber nur für eng zusammengehörende Variablen verwendet werden.

- Der Inhalt einer Variablen ist zu Beginn nicht definiert.

Einlesen von Variablen

Sum.om

```
(* read input values *)
Write.String("a = "); Read.Int(a);
Write.String("b = "); Read.Int(b);
```

- Anweisungen (in der Oberon-Grammatik ⟨Statement⟩ genannt) werden in Oberon durch Semikolon voneinander getrennt: ⟨StatementSequence⟩ $\longrightarrow$ ⟨Statement⟩ { ";" ⟨Statement⟩ }

- **Write.String** gibt eine Zeichenkette ohne Zeilentrenner aus.

- **Read.Int** liest eine ganze Zahl ein und legt speichert sie im Erfolgsfalle in der angegebenen Variablen, die vom Typ **INTEGER** sein muß.

- Beim Einlesen von einem Terminal gelten folgende Regeln:

  - Das Programm sieht die Eingabe erst, wenn der Benutzer einen Zeilentrenner eintippt (oder mit CTRL-d den Inhalt des Eingabe-Puffers zwangsweise an das Programm schickt).

  - Solange das Programm die Eingabe noch nicht gesehen hat, sind Änderungen möglich durch Verwendung von entsprechenden Sonderzeichen wie CTRL-u oder BACKSPACE.

  - Auch Ausgaben des Programms werden gepuffert. Bei einer Verbindung zum Terminal werden diese erst sichbar, falls ein Zeilentrenner ausgegeben wird oder etwas einzulesen ist.

Zuweisung

Sum.om

```
   sum := a + b;
```

- Zuweisungen entsprechen der **MOV**-Anweisung in Redcode, bei der ein Wert von einer Speicherzelle in eine andere kopiert worden ist.

- In Oberon kann der zu kopierende Wert zuerst mit einem Ausdruck berechnet werden.

- Eine Zuweisung besteht aus dem Ziel (in der Oberon-Grammatik ⟨Designator⟩ genannt), der Sequenz “:=” und einem Ausdruck:
  ⟨Assignment⟩ $\longrightarrow$ ⟨Designator⟩ “:=” ⟨Expression⟩

- Im einfachsten Falle kann für ⟨Designator⟩ der Name einer Variablen eingesetzt werden.

- Wenn in einem Ausdruck Variablen verwendet werden, sollte sichergestellt sein, daß diese zuvor initialisiert worden sind. In diesem konkreten Falle geschah dies durch die beiden Aufrufe von **Read.Int**. Wenn dies fehlt, sind die Werte undefiniert.

Kontrollstrukturen

- Bislang wurden alle Anweisungen linear in der Reihenfolge ausgeführt, in der sie im Programmtext standen.

- Kontrollstrukturen sind Anweisungen, die Wiederholungen und bedingte Verzweigungen im Programmtext ermöglichen.

Bedingte Verzweigungen

Hilo.om

```
IF guess < secretNumber THEN
   Write.Line("Too small!");
ELSE
   Write.Line("Too large!");
END;
```

- Mit der **IF**-Anweisung wird aufgrund von einer Bedingung entschieden, welche weiteren Anweisungen zur Ausführung gelangen.

- Syntax:
  $\langle$IfStatement$\rangle$ $\longrightarrow$ "IF" $\langle$Expression$\rangle$ "THEN"
  $\langle$StatementSequence$\rangle$
  { "ELSIF" $\langle$Expression$\rangle$ "THEN"
  $\langle$StatementSequence$\rangle$ }
  ["ELSE" $\langle$StatementSequence$\rangle$]
  "END"

- < ist ein Vergleichsoperator, der auf eine Reihe von Typen angewendet werden kann (z.B. auf **INTEGER**).

- Das Resultat ist vom Typ **BOOLEAN**. Bei diesem Typ gibt es nur zwei mögliche Werte: **TRUE** und **FALSE**.

- Die **IF**-Anweisung erwartet bei ihrer Bedingung einen beliebigen Ausdruck vom Typ **BOOLEAN**.

- Ist der Wert der Bedingung **TRUE**, wird der **THEN**-Teil ausgeführt, ansonsten der **ELSE**-Teil.

WHILE-Schleife

Hilo.om

```
Write.String("Your guess: "); Read.LongInt(guess);
WHILE guess # secretNumber DO
   IF guess < secretNumber THEN
      Write.Line("Too small!");
   ELSE
      Write.Line("Too large!");
   END;
   Write.String("Your guess: "); Read.LongInt(guess);
END;
```

- Syntax:
  $\langle$WhileStatement$\rangle$ $\longrightarrow$ "WHILE" $\langle$Expression$\rangle$ "DO"
  $\langle$StatementSequence$\rangle$
  "END"

- Bei einer **WHILE**-Schleife wird zunächst die Bedingung ausgewertet. Falls sie **TRUE** ist, werden die Anweisungen innerhalb der Schleife ausgeführt und danach wird die Bedingung erneut überprüft. Die Anweisungen innerhalb der Schleife werden solange wiederholt, bis die Bedingung **FALSE** wird. Danach geht die Ausführung hinter der **WHILE**-Anweisung weiter.

Beispiel: Hilo-Spiel

Hilo.om

```
MODULE Hilo;

   IMPORT RandomGenerators, Read, Write;

   VAR
      secretNumber: LONGINT;
         (* secret number out of [1..1024] *)
      guess: LONGINT; (* last guess *)

BEGIN
   secretNumber := RandomGenerators.Val(1, 1024);
   Write.Line("Welcome to the Hilo game!");
   Write.String("Please guess the secret number ");
   Write.Line("out of [1..1024]");

   Write.String("Your guess: "); Read.LongInt(guess);
   WHILE guess # secretNumber DO
      IF guess < secretNumber THEN
         Write.Line("Too small!");
      ELSE
         Write.Line("Too large!");
      END;
      Write.String("Your guess: "); Read.LongInt(guess);
   END;

   Write.String("Congratulations, ");
   Write.Line("you found the secret number!");
END Hilo.
```

Beispiel: Hilo-Spiel

Hilo.om

```
VAR
   secretNumber: LONGINT;
      (* secret number out of [1..1024] *)
   guess: LONGINT; (* last guess *)
```

- Die Variablen **secretNumber** und **guess** sind vom Typ **LONGINT**. **LONGINT** umfaßt unserer Implementierung den gleichen Bereich wie **INTEGER**. Die Verwendung von **LONGINT** ist hier notwendig, da **RandomGenerators.Val** einen Wert vom Typ **LONGINT** liefert.

- **RandomGenerators.Val** ist eine Funktion, die eine pseudozufällige Zahl aus dem angegebenen Bereich liefert. Diese Zahl wird in einer Zuweisung der Variablen **secretNumber** zugewiesen.

Hilo.om

```
secretNumber := RandomGenerators.Val(1, 1024);
```

Endliche Automaten

Ein deterministischer endlicher Automat A ist ein 5-Tupel (Z, V, δ, s, E):

- Z ist eine endliche Menge von Zuständen.
- V ist eine endliche Menge von Symbolen.
- δ ist eine Übergangsfunktion $\delta : Z \times V \to Z$.
- $s \in Z$ ist der Startzustand.
- $E \subset Z$ ist die Menge der zulässigen Endzustände.

Wenn eine Zeichenfolge $\alpha = (\alpha_1, \cdots, \alpha_n) \in V^*(n \geq 0)$ gegeben ist, ergibt sich entsprechend eine Folge von Zuständen ζ mit

$$\begin{aligned} \zeta_0 &= s \\ \zeta_i &= \delta(\zeta_{i-1}, \alpha_i) \qquad (i \geq 1) \end{aligned}$$

Ein endlicher Automat A erkennt die Zeichenfolge $\alpha \in V^*$, falls gilt: $\zeta_n \in E$.

Beispiel: Gleitkommazahlen

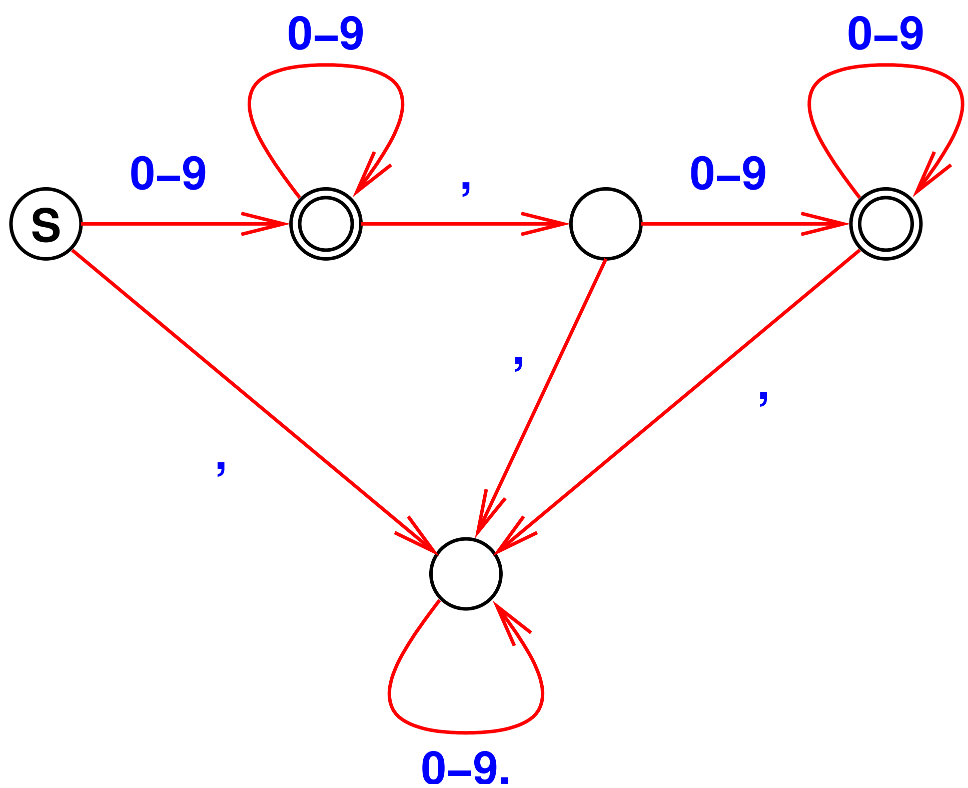
- $Z = \{z_1, \cdots, z_5\}$
- $V = \{$ "0", $\cdots$, "9", "," $\}$
-

δ	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5
"0" $\cdots$ "9"	z_2	z_2	z_4	z_4	z_5
","	z_5	z_3	z_5	z_5	z_5

- $s = z_1$
- $E = \{z_2, z_4\}$

Hinweis: z_5 dient als Fehlerzustand. Wenn an einer unpassenden Stelle ein Komma kommt (z.B. zu Beginn oder nachdem bereits ein Komma gesehen worden ist), dann bleibt der Automat bis zum Ende der Eingabefolge in diesem Fehlerzustand.

Graphische Darstellung endlicher Automaten



- Jeder Zustand aus Z wird durch einen Kreis repräsentiert.

- Sei $V_{i,j}$ die Menge aller $v \in V$ für die gilt: $\delta(z_i, v) = z_j$. Falls $V_{i,j} \neq \emptyset$, dann ist ein gerichteter Pfeil zu zeichnen von dem Kreis für z_i zu dem Kreis von z_j, der mit der Menge $V_{i,j}$ beschriftet wird.

- Der Anfangszustand z_1 wird durch ein "S" markiert.

- Zulässige Endzustände werden durch einen doppelten Kreis markiert.

Automaten in Oberon

FloatingPointAutomaton.om

```
MODULE FloatingPointAutomaton;
   IMPORT ASCII, Read, Write;
   VAR state: INTEGER; symbol: CHAR;
BEGIN
   state := 1; (* initial state *)
   Read.Char(symbol);
   WHILE symbol # ASCII.nl DO
      CASE symbol OF
      | "0".."9":
         CASE state OF
         | 1:  state := 2;
         | 2:  state := 2;
         | 3:  state := 4;
         | 4:  state := 4;
         | 5:  state := 5;
         END;
      | ",":
         CASE state OF
         | 1:  state := 5;
         | 2:  state := 3;
         | 3:  state := 5;
         | 4:  state := 5;
         | 5:  state := 5;
         END;
      ELSE
         state := 5;
      END;
      Read.Char(symbol);
   END;
   CASE state OF
   | 2, 4:  Write.Line("Looks good!");
   ELSE     Write.Line("Invalid input!");
   END;
END FloatingPointAutomaton.
```

Datentyp CHAR

FloatingPointAutomaton.om

```
VAR
   symbol: CHAR; (* current input symbol *)
```

- **CHAR** repräsentiert ein einzelnes Zeichen in Oberon.
- Als Repräsentierung stehen nur 8 Bit zur Verfügung, die entsprechend ASCII belegt sind (Werte 0 bis 127). Der Bereich aus 128 bis 255 unterliegt den jeweils lokalen Konventionen (bei uns beispielsweise ISO-8859-1).

FloatingPointAutomaton.om

```
Read.Char(symbol);
WHILE symbol # ASCII.nl DO
   (* ... *)
   Read.Char(symbol);
END;
```

- Mit **Read.Char** wird das nächste Zeichen aus der Eingabe in die angegebene Variable abgespeichert.
- **ASCII.nl** ist das Zeichen, das den Zeilentrenner repräsentiert.
- Die **WHILE**-Schleife wiederholt ihre inneren Anweisungen solange, bis ein Zeilentrenner eingelesen wird.

Die CASE-Anweisung

FloatingPointAutomaton.om

```
CASE symbol OF
| "0".."9":
   CASE state OF
   | 1:  state := 2;
   | 2:  state := 2;
   | 3:  state := 4;
   | 4:  state := 4;
   | 5:  state := 5;
   END;
| ",":
   CASE state OF
   | 1:  state := 5;
   | 2:  state := 3;
   | 3:  state := 5;
   | 4:  state := 5;
   | 5:  state := 5;
   END;
ELSE
   (* enter error state in case of unknown symbols *)
   state := 5;
END;
```

- Bei einer **CASE**-Anweisung wird zunächst der Ausdruck hinter dem **CASE**-Schlüsselwort berechnet.

- Danach wird untersucht, ob dieser Wert einem der angegebenen Fälle entspricht. Falls ja, wird der zugehörige Programmtext ausgeführt.

- Bei den einzelnen Fällen können beliebig viele durch Kommata getrennte Konstanten aufgezählt werden. Auch Bereichsangaben sind unter Verwendung von .. zulässig.

Die CASE-Anweisung

FloatingPointAutomaton.om

```
CASE state OF
| 1:  state := 2;
| 2:  state := 2;
| 3:  state := 4;
| 4:  state := 4;
| 5:  state := 5;
END;
```

- Trifft keiner der angegebenen Fälle zu, wird der **ELSE**-Fall verwendet. Fehlt der **ELSE**-Fall, stürzt das Programm (kontrolliert) ab.
- Das ist in vielen Fällen wünschenswert, da es auf diese Weise auffällt, daß irgendeine Variable einen unerwarteten Wert hat.
- Syntax:

$$
\begin{array}{rcl}
\langle\text{CaseStatement}\rangle & \longrightarrow & \text{“CASE”}\ \langle\text{Expression}\rangle\,\text{“OF”} \\
 & & \langle\text{Case}\rangle\ \{\ \text{“}\,|\,\text{”}\,\langle\text{Case}\rangle\ \} \\
 & & [\ \text{“ELSE”}\,\langle\ \text{StatementSequence}\rangle\ ] \\
 & & \text{“END”} \\
\langle\text{Case}\rangle & \longrightarrow & [\ \langle\text{CaseLabelList}\rangle\ \ \text{“:”}\,\langle\text{StatementSequence}\rangle\ ] \\
\langle\text{CaseLabelList}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{CaseLabels}\rangle\ \{\ \text{“,”}\,\langle\text{CaseLabels}\rangle\ \} \\
\langle\text{CaseLabels}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{ConstExpression}\rangle\ [\ \text{“..”}\,\langle\text{ConstExpression}\rangle\ ]
\end{array}
$$

Reguläre Sprachen

Sprachen, die mit einem endlichen Automaten definiert werden können, werden **reguläre** Sprachen genannt. Die entsprechende Grammatik läßt sich mit folgendem Verfahren ableiten:

- $V_T = V$ (die Menge der Terminal-Symbole der Grammatik entspricht genau der Menge der Symbole des Automaten)
- $V_N = Z$ (aus jedem Zustand des Automaten wird je ein Nicht-Terminal-Symbol der Grammatik)
- Für jeden Zustand $z \in E$ (Endzustand) gibt es eine Produktionsregel:
  $\langle z \rangle \ \longrightarrow \ \epsilon$
- Für alle Zustandskombinationen $(z_i, z_j) \in Z \times Z$, wird für jedes Symbol v aus $V_{i,j}$ eine Produktionsregel gebildet:
  $\langle z_i \rangle \ \longrightarrow \ v \ \langle z_j \rangle$
- $S = \langle s \rangle$ (das Startsymbol des Automaten wird zum Startsymbol der Grammatik)

Beispiel: Gleitkommazahlen

Der endliche Automat für Gleitkommazahlen läßt sich in entsprechend der vorgestellten Transformationsregel in eine Grammatik überführen:

- $V_T = \{ \text{"0"}, \cdots, \text{"9"}, \text{","} \}$
- $V_N = \{\langle z_1 \rangle, \cdots, \langle z_5 \rangle\}$
- Produktionsregeln P:

$$
\begin{array}{lcl}
\langle z_2 \rangle & \longrightarrow & \epsilon \\
\langle z_4 \rangle & \longrightarrow & \epsilon \\
\langle z_1 \rangle & \longrightarrow & \text{"0"} \langle z_2 \rangle \\
 & \cdots & \\
\langle z_1 \rangle & \longrightarrow & \text{"9"} \langle z_2 \rangle \\
\langle z_1 \rangle & \longrightarrow & \text{","} \langle z_5 \rangle \\
\langle z_2 \rangle & \longrightarrow & \text{"0"} \langle z_2 \rangle \\
 & \cdots & \\
\langle z_2 \rangle & \longrightarrow & \text{"9"} \langle z_2 \rangle \\
\langle z_2 \rangle & \longrightarrow & \text{","} \langle z_3 \rangle
\end{array}
\qquad
\begin{array}{lcl}
\langle z_3 \rangle & \longrightarrow & \text{"0"} \langle z_4 \rangle \\
 & \cdots & \\
\langle z_3 \rangle & \longrightarrow & \text{"9"} \langle z_4 \rangle \\
\langle z_3 \rangle & \longrightarrow & \text{","} \langle z_5 \rangle \\
\langle z_4 \rangle & \longrightarrow & \text{"0"} \langle z_4 \rangle \\
 & \cdots & \\
\langle z_4 \rangle & \longrightarrow & \text{"9"} \langle z_4 \rangle \\
\langle z_4 \rangle & \longrightarrow & \text{","} \langle z_5 \rangle \\
\langle z_5 \rangle & \longrightarrow & \text{"0"} \langle z_5 \rangle \\
 & \cdots & \\
\langle z_5 \rangle & \longrightarrow & \text{"9"} \langle z_5 \rangle \\
\langle z_5 \rangle & \longrightarrow & \text{","} \langle z_5 \rangle
\end{array}
$$

- $S = \langle z_1 \rangle$

Nicht-reguläre Sprachen

Können alle durch Grammatiken beschreibbare Sprachen auch durch endliche Automaten beschrieben werden?

Hier ist eine Grammatik für eine Sprache, für die kein endlicher Automat gefunden werden kann:

- $V_T = \{\,``("\,,\,``)"\,\}$
- $V_N = \{\langle A\rangle, \langle B\rangle\}$
- Produktionsregeln P:

$$\begin{array}{lcl} \langle A\rangle & \longrightarrow & \epsilon \\ \langle A\rangle & \longrightarrow & \langle B\rangle\ \langle A\rangle \\ \langle B\rangle & \longrightarrow & ``("\,\langle A\rangle\,``)" \end{array}$$

LOOP-Anweisung

- Die LOOP-Anweisung ist die einfachste und gleichzeitig flexibelste Schleife.
- Sie wird von den Schlüsselwörtern **LOOP** und **END** umrahmt.
- Die **EXIT**-Anweisung verläßt die innerste die **EXIT**-Anweisung umgebende **LOOP**-Schleife und setzt die Ausführung unmittelbar hinter dem **END** fort.
- Beliebig viele **EXIT**-Anweisungen sind innerhalb einer **LOOP**-Schleife zulässig.
- **EXIT** ist außerhalb einer **LOOP**-Anweisung nicht zulässig, obwohl es die Oberon-Grammatik zulassen würde.
- Syntax:

$$
\begin{array}{rcl}
\langle\text{Statement}\rangle & \longrightarrow & [\ \cdots \mid \\
 & & \langle\text{LoopStatement}\rangle \mid \\
 & & \text{“EXIT”}\ ] \\
\langle\text{LoopStatement}\rangle & \longrightarrow & \text{“LOOP”} \\
 & & \langle\text{StatementSequence}\rangle \\
 & & \text{“END”}
\end{array}
$$

LOOP-Anweisung

- **WHILE** *Bedingung* **DO**
  Anweisungen
  END

  ist (nahezu) äquivalent zu

  LOOP
  IF ~*(Bedingung)* **THEN EXIT END;**
  Anweisungen
  END

- Der Operator ~ steht dabei für die logische Negation, d.h. **TRUE** wird zu **FALSE** abgebildet und **FALSE** zu **TRUE**.

- Das "nahezu" bezieht sich darauf, daß eine **WHILE**-Anweisung für **EXIT**-Anweisungen irrelevant ist, eine **LOOP**-Anweisung hingegen schon.

- Es gibt auch eine elegantere Fassung im Vergleich zur **LOOP**-Anweisung, wenn die Bedingung am Ende geprüft werden soll:

  REPEAT
  Anweisungen
  UNTIL *Bedingung*

  ist (nahezu) äquivalent zu

  LOOP
  Anweisungen
  IF *Bedingung* **THEN EXIT END;**
  END

- Achtung: Bei **UNTIL** gibt die Bedingung an, wann die Schleife zu beenden ist, bei **WHILE** gibt die Bedingung an, wann die Schleife fortzusetzen ist.

Einlese-Schleifen

Minimum.om

```
(*
   read integers from standard input and
   print minimal value
*)
MODULE Minimum;

   IMPORT Read, Streams, Write;

   VAR
      min: INTEGER; (* minimal value seen so far *)
      mindefined: BOOLEAN; (* min well-defined? *)
      value: INTEGER; (* last input value *)

BEGIN
   mindefined := FALSE; (* min not initialized yet *)
   LOOP
      Read.Int(value); (* try to read a value *)
      IF Streams.stdin.count = 0 THEN EXIT END;
      (* value is well-defined now *)
      IF ~mindefined OR (value < min) THEN
         (* new minimum found *)
         min := value; mindefined := TRUE;
      END;
   END;
   IF mindefined THEN
      Write.Int(min, 1); Write.Ln;
   END;
END Minimum.
```

Einlese-Schleifen

Minimum.om

```
LOOP
   Read.Int(value); (* try to read a value *)
   IF Streams.stdin.count = 0 THEN EXIT END;
   (* value is well-defined now *)
   IF ~mindefined OR (value < min) THEN
      (* new minimum found *)
      min := value; mindefined := TRUE;
   END;
END;
```

- Lese-Operationen wie **Read.Int** können wie erhofft funktionieren oder auch fehlschlagen.

- Ein **Read.Int** schlägt beispielsweise fehl, wenn die Eingabe beendet ist oder ein Buchstabe anstatt einer Ziffernfolge eingegeben wird.

- Die externe Variable **Streams.stdin.count** ist vom Typ **INTEGER** und ist 0, falls die letzte Einlese-Operation von der Standard-Eingabe (**Streams.stdin**) nicht erfolgreich war — aus welchem Grunde auch immer. Andernfalls ist sie positiv.

- Wenn der Erfolg von Lese-Operationen überprüft werden soll, ist folgender genereller Schleifenaufbau sinnvoll:

  LOOP
      Leseoperation
      IF *Leseoperation nicht erfolgreich* **THEN EXIT END;**
      Eingelesenen Wert verarbeiten
  END

Alternative Einlese-Schleifen

Alternativ zu **LOOP** gibt es natürlich auch Varianten auf Basis der anderen Schleifen-Anweisungen:

- *Leseoperation*
  WHILE *Leseoperation erfolgreich* **DO**
      Eingelesenen Wert verarbeiten
      Leseoperation
  END

  Nachteil: Die Leseoperation muß an zwei Stellen angegeben werden. Dieser Nachteil kann aber in manchen Fällen eliminiert werden, wenn das Einlesen innerhalb der Schleifenbedingung erfolgen kann. (Das wurde jedoch noch nicht vorgestellt).

- **REPEAT**
      Leseoperation
      IF *Leseoperation erfolgreich* **THEN**
          Eingelesenen Wert verarbeiten
      END
  UNTIL *Leseoperation nicht erfolgreich*;

  Nachteil: Der Erfolg der Lese-Operation wird an zwei Stellen überprüft.

Einlesen mit zusätzlichen Tests

- Spätestens, wenn zusätzliche Tests der Eingabedaten erfolgen, sollte jedoch eine **LOOP**-Schleife bevorzugt werden.

- Typisches Schema mit der Möglichkeit einer erneuten Eingabe:

  LOOP
      Leseoperation
      IF *Leseoperation nicht erfolgreich* **THEN EXIT END;**
      IF *eingelesener Wert zulässig* **THEN**
          Eingelesenen Wert verarbeiten
      ELSE
          Fehlermeldung ausgeben
      END
  END

- Schema ohne die Möglichkeit einer erneuten Eingabe:

  LOOP
      Leseoperation
      IF *Leseoperation nicht erfolgreich* **THEN EXIT END;**
      IF *eingelesener Wert unzulässig* **THEN EXIT END;**
      Eingelesenen Wert verarbeiten
  END

Erst einlesen, dann testen

- In Oberon (und vielen anderen Programmiersprachen) wird zunächst ein Einlese-Versuch gestartet und dann wird getestet, ob dieser erfolgreich war.

- Es ist nicht sinnvoll, diese Reihenfolge umzudrehen. da die Statusvariablen unterhalb von **Streams.stdin** den Erfolg oder Mißerfolg des letzten Einlese-Versuches widerspiegeln.

- Es gibt einige Programmiersprachen (wie z.B. Pascal), die es erlauben, zuerst zu testen und dann zu lesen:

  WHILE NOT EOF DO BEGIN
      Leseoperation
      Eingelesenen Wert verarbeiten
  END

  Dieses Schema sollte nicht nach Oberon übertragen werden! (Anders als in Oberon impliziert der **EOF**-Test in Pascal eine Lese-Operation, falls der Eingabe-Puffer momentan leer ist. In Oberon führen die Tests niemals implizit zu Ein- oder Ausgabe-Operationen).

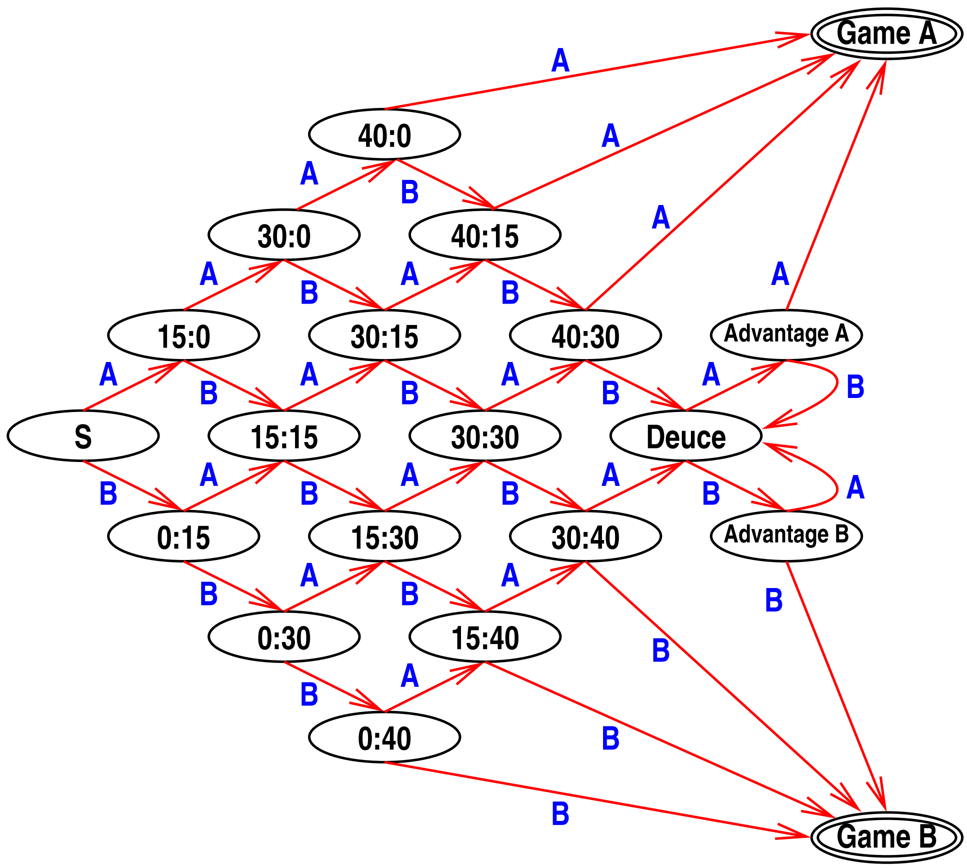
Endliche Automaten mit Textausgabe

Es gibt endliche Automaten, die Ausgabetext produzieren in Abhängigkeit

- von dem aktuellen Zustand: Moore-Maschine.
- von dem aktuellen Zustand und dem nächsten Eingabe-Symbol: Mealy-Maschine.

In Ergänzung oder an Stelle der Ausgabe sind natürlich auch beliebige andere Anweisungen denkbar, die einen Zustand außerhalb den des Automaten manipulieren. Endliche Automaten als Grundstruktur sind vielfach in Gebrauch in der Kommunikation mit anderen Programmen (z.B. über ein Netzwerk) oder mit Hardware.

Beispiel für eine Moore-Maschine



- Ein Tennis-Spiel strukturiert sich hierarchisch in ein Match, das aus mehreren Sätzen besteht, die wiederum aus Spielen zusammengesetzt sind, die aus einer Reihe von Punkten bestehen.

- Das Diagramm zeigt einen Moore-Automaten für ein einzelnes Tennis-Spiel.

- $V = \{$"A", "B"$\}$
  ("A" heißt ein Punkt ging an Spieler A, "B" weist entsprechend einen gewonnen Punkt an Spieler B zu).

Rahmen für den Tennis-Automaten

Tennis.om

```
MODULE Tennis;
   IMPORT ASCII, Read, Streams, Write;
   (* ... CONST definitions ... *)
   VAR
      state: INTEGER; (* current state *)
      ch: CHAR; (* last input character *)
BEGIN
   Write.Line("A vs B");
   state := s0to0; (* initial state *)
   LOOP (* until game is finished or no input is available *)
      (* print current state *)
      (* store next valid input character into ch;
         set ch to 0X (null-byte) if no valid input
         is available
      *)
      (* compute next state *)
   END;
END Tennis.
```

- Beim Durchlaufen der **LOOP**-Anweisung wird zunächst der aktuelle Zustand ausgegeben (wie bei Moore-Automaten üblich), dann wird das nächste Symbol gelesen und dann wird der Folgezustand bestimmt.

- Die **LOOP**-Schleife wird hier verlassen, sobald einer der Endezustände erreicht wird (geschieht bei der Ausgabe des Zustands) oder ein weiteres Symbol nicht mehr eingelesen werden kann.

Konstantendefinitionen

Tennis.om

```
CONST
   (* states *)
   s0to0 = 0;                s30to30 = 10;
   s0to15 = 1;               s30to40 = 11;
   s0to30 = 2;               s40to0 = 12;
   s0to40 = 3;               s40to15 = 13;
   s15to0 = 4;               s40to30 = 14;
   s15to15 = 5;              deuce = 15;
   s15to30 = 6;              advantageA = 16;
   s15to40 = 7;              advantageB = 17;
   s30to0 = 8;               gameA = 18;
   s30to15 = 9;              gameB = 19;
```

- Die reine Verwendung von Zustandsnummern ist wenig anschaulich und führt dazu, daß Verwechslungen leicht übersehen werden.

- Mit **CONST** können "sprechende" Namen für Konstanten vereinbart werden. Die Namen können später überall verwendet werden, wo die Verwendung einer entsprechenden Konstante zulässig wäre.

- Syntax:

$$\langle\text{ConstantDeclaration}\rangle \longrightarrow \langle\text{Ident}\rangle \text{ “=” } \langle\text{ConstExpression}\rangle$$

Ausgabe des Zustands

Tennis.om

```
(* print current state *)
CASE state OF
| s0to0:       Write.Line("0:0");
| s0to15:      Write.Line("0:15");
| s0to30:      Write.Line("0:30");
| s0to40:      Write.Line("0:40");
| s15to0:      Write.Line("15:0");
| s15to15:     Write.Line("15:15");
| s15to30:     Write.Line("15:30");
| s15to40:     Write.Line("15:40");
| s30to0:      Write.Line("30:0");
| s30to15:     Write.Line("30:15");
| s30to30:     Write.Line("30:30");
| s30to40:     Write.Line("30:40");
| s40to0:      Write.Line("40:0");
| s40to15:     Write.Line("40:15");
| s40to30:     Write.Line("40:30");
| deuce:       Write.Line("Deuce");
| advantageA:  Write.Line("Advantage A");
| advantageB:  Write.Line("Advantage B");
| gameA:       Write.Line("Game A"); EXIT
| gameB:       Write.Line("Game B"); EXIT
END;
```

Einlese-Schleife

Tennis.om

```
(* store next valid input character into ch;
   set ch to 0X (null-byte) if no valid input
   is available
*)
LOOP (* until we get a valid input character
        or no input is available *)
   Read.Char(ch);
   IF Streams.stdin.count = 0 THEN
      ch := 0X;
      EXIT
   END;
   IF (ch = "A") OR (ch = "B") THEN
      EXIT
   END;
   IF (ch # " ") & (ch # ASCII.nl) THEN
      Write.Line("Invalid input character found!");
      ch := 0X;
      EXIT
   END;
END;
```

- `0X` ist das Nullbyte (also das Zeichen mit dem Wert 0).
- Wir nutzen diesen Wert hier, um für den Rest des Programms das Eingabe-Ende bzw. die Eingabe unzulässiger Zeichen zu signalisieren.
- Der **OR**-Operator liefert **TRUE**, falls einer der beiden Operanden den Wert **TRUE** hat, andernfalls **FALSE**.
- Der **&**-Operator liefert **TRUE**, falls beide Operanden den Wert **TRUE** haben, andernfalls **FALSE**.

Übergang zum Folgezustand

Tennis.om

```
(* compute next state *)
CASE ch OF
| "A":
   CASE state OF
   | s0to0:       state := s15to0;
   | s0to15:      state := s15to15;
   | s0to30:      state := s15to30;
   | s0to40:      state := s15to40;
   | s15to0:      state := s30to0;
   | s15to15:     state := s30to15;
   | s15to30:     state := s30to30;
   | s15to40:     state := s30to40;
   | s30to0:      state := s40to0;
   | s30to15:     state := s40to15;
   | s30to30:     state := s40to30;
   | s30to40:     state := deuce;
   | s40to0:      state := gameA;
   | s40to15:     state := gameA;
   | s40to30:     state := gameA;
   | deuce:       state := advantageA;
   | advantageA:  state := gameA;
   | advantageB:  state := deuce;
   END;
| "B": (* ... *)
| 0X: (* no input available *)
   EXIT
END;
```

Formale Logik

- Sei $L = L(G)$ eine formale Sprache, die durch die Grammatik G definiert sei.

- Sei $A \subset L$ eine Menge von Sätzen, die wir Axiome nennen. Alle Axiome werden als wahr betrachtet, ohne daß dies zu beweisen ist.

- Deduktionsregeln erlauben die Ableitung neuer Theoreme aus den Axiomen und bereits bewiesener Theoreme.

- Die Kombination aus einer formalen Sprache L mit formellen Deduktionsregeln wird als **formale Logik** bezeichnet.

- Mit L kann eine Semantik assoziiert sein, die uns angibt, welche Teilmenge $T \subset L$ als wahr zu betrachten ist. Wenn die Menge aller Sätze, die sich aus den Axiomen under Verwendung der Deduktionsregeln ableiten lassen, zu T gehören, dann ist die formale Logik wohlformuliert. Wenn alle Elemente aus T abgeleitet werden können, ist sie vollständig.

- Literatur: Uwe Schöning, "Logik für Informatiker"

Grammatik einer Aussagenlogik

Folgende Grammatik G sei gegeben:

- $V_T = \{\langle\text{Variable}\rangle, \text{“}\neg\text{”}, \text{“}\Rightarrow\text{”}, \text{“(”}, \text{“)”}\}$
- $V_N = \{\langle\text{Formula}\rangle, \langle\text{SimpleFormula}\rangle\}$
- Produktionsregeln P:

$$
\begin{array}{rcl}
\langle\text{Formula}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{SimpleFormula}\rangle \\
\langle\text{Formula}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{SimpleFormula}\rangle \ \text{“}\Rightarrow\text{”} \ \langle\text{Formula}\rangle \\
\langle\text{SimpleFormula}\rangle & \longrightarrow & \langle\text{Variable}\rangle \\
\langle\text{SimpleFormula}\rangle & \longrightarrow & \text{“}\neg\text{”} \ \langle\text{SimpleFormula}\rangle \\
\langle\text{SimpleFormula}\rangle & \longrightarrow & \text{“(”} \ \langle\text{Formula}\rangle \ \text{“)”}
\end{array}
$$

- Startsymbol: $\langle\text{Formula}\rangle$

Substitutionen

Eine Substitution S mit n Parametern ist eine Funktion

$S : L^n \rightarrow L$,

die spezifiziert wird durch

- n Parameter $p_1, \cdots, p_n$ und
- einer Formel $F \in L$, in der $p_1, \cdots, p_n$ überall vorkommen dürfen, wo $\langle$Formula$\rangle$ zulässig ist.

Das Abbild von n Formeln $P_1, \cdots, P_n$ der Substitution S ist dann F, bei der textuell p_1 durch P_1 ersetzt wird, p_2 durch P_2, $\cdots$ und p_n durch P_n.

Beispiel für eine Substitution mit einem Parameter:
$S(p) := \neg\neg(p) \Rightarrow p$

Anwendungsbeispiel: $S(A \Rightarrow B) = \neg\neg(A \Rightarrow B) \Rightarrow A \Rightarrow B$

Modus Ponens

Bei der Aussagenlogik gibt es nur eine einzige Deduktionsregel, der sogenannte **Modus Ponens**:

Es seien zwei Theoreme oder Axiome folgender Form gegeben:

- A
- $(A) \Rightarrow B$

Hierbei sind A und B beliebige Formeln aus L.

Dann kann daraus B als neues Theorem abgeleitet werden.

Hilbert-Axiome der Aussagenlogik

Axiome sind alle Sätze aus L, die sich durch folgende Substitutionen erzeugen lassen:

- $H_1(p_1, p_2) := (p_1) \Rightarrow (p_2) \Rightarrow p_1$
- $H_2(p_1, p_2, p_3) := ((p_1) \Rightarrow (p_2) \Rightarrow p_3) \Rightarrow ((p_1) \Rightarrow p_2) \Rightarrow (p_1) \Rightarrow p_3$
- $H_3(p_1, p_2) := (\neg(p_1) \Rightarrow \neg(p_2)) \Rightarrow (p_2) \Rightarrow p_1$

Beispiel für eine Ableitung

Läßt sich $(A) \Rightarrow A$ (für beliebiges $A \in L$) ableiten? Ja:

$$
\begin{aligned}
P_1 &= H_1(A, (A) \Rightarrow A) \\
&= (A) \Rightarrow ((A) \Rightarrow A) \Rightarrow A \\
P_2 &= H_2(A, (A) \Rightarrow A, A) \\
&= ((A) \Rightarrow ((A) \Rightarrow A) \Rightarrow A) \Rightarrow ((A) \Rightarrow (A) \Rightarrow A) \Rightarrow (A) \Rightarrow A \\
P_3 &= \textbf{Modus Ponens}(P_1, P_2) \\
&= ((A) \Rightarrow (A) \Rightarrow A) \Rightarrow (A) \Rightarrow A \\
P_4 &= H_1(A, A) \\
&= (A) \Rightarrow (A) \Rightarrow A \\
P_5 &= \textbf{Modus Ponens}(P_4, P_3) \\
&= (A) \Rightarrow A
\end{aligned}
$$

Semantik

Die Semantik kann als Funktion $\mathcal{A} : L \to \{\textbf{TRUE}, \textbf{FALSE}\}$ betrachtet werden, die jeder Formel F einen Wahrheitswert **TRUE** oder **FALSE** zuweist.

Sie wird praktischerweise rekursiv entlang der Produktionsregeln von G definiert:

- Sei V die Menge aller Instantiierungen von ⟨Variable⟩ von G.
- Sei $\mathcal{A}' : V \to \{\textbf{TRUE}, \textbf{FALSE}\}$ die Funktion, die jeder Variablen einen Wahrheitswert zuweist. (Diese Funktion wird **Belegung** genannt).
- $\forall v \in V : \ \mathcal{A}(v) = \mathcal{A}'(v)$
- $\mathcal{A}(\neg(F)) = \begin{cases} \textbf{TRUE}, & \text{falls } \mathcal{A}(F) = \textbf{FALSE} \\ \textbf{FALSE}, & \text{falls } \mathcal{A}(F) = \textbf{TRUE} \end{cases}$
- $\mathcal{A}((F_1) \Rightarrow F_2) = \begin{cases} \textbf{TRUE}, & \text{falls } \mathcal{A}(F_1) = \textbf{FALSE} \\ \mathcal{A}(F_2), & \text{falls } \mathcal{A}(F_1) = \textbf{TRUE} \end{cases}$

Wahrheitstafeln

Gegeben sei eine Formel F mit n Variablen. Da jeder der Variablen nur einen der Werte **TRUE** oder **FALSE** annehmen kann, können die 2^n verschiedenen Wertekombinationen der Variablen von F zusammen mit $\mathcal{A}(F)$ in einer Tabelle zusammengefaßt werden.

Beispiele:

$\mathcal{A}(F)$	$\mathcal{A}(\neg(F))$
TRUE	**FALSE**
FALSE	**TRUE**

$\mathcal{A}(F_1)$	$\mathcal{A}(F_2)$	$\mathcal{A}((F_1) \Rightarrow F_2)$
TRUE	**TRUE**	**TRUE**
TRUE	**FALSE**	**FALSE**
FALSE	**TRUE**	**TRUE**
FALSE	**FALSE**	**TRUE**

Äquivalenz

Zwei Formeln F_1 und F_2 mit jeweils n Variablen $v_1, \cdots, v_n$ können als äquivalent betrachtet werden, falls $\mathcal{A}(F_1) = \mathcal{A}(F_2)$ für alle 2^n möglichen Belegungen der Variablen $v_1, \cdots, v_n$.

Beispiel: $\mathcal{A}((A) \Rightarrow B) \equiv \mathcal{A}(\neg(B) \Rightarrow \neg(A))$
Der Nachweis kann durch die Verwendung von Wahrheitstafeln durchgeführt werden.

Alle Formeln mit n Variablen können entsprechend dieser Äquivalenzrelation in Äquivalenzklassen einsortiert werden.

Wieviel Äquivalenzklassen kann es geben? Die Obergrenze ergibt sich durch die kombinatorische Vielfalt aller Wahrheitstabellen. Eine Wahrheitstabelle für n Variablen hat 2^n Einträge und diese können alle jeweils mit **TRUE** oder **FALSE** belegt werden. Das ergibt dann 2^{2^n} verschiedene Ausprägungen.

Wenn die Grundoperatoren geschickt ausgewählt werden (wie hier mit $\neg$ und $\Rightarrow$), dann kann für jede denkbare Wahrheitstabelle auch eine Formel angegeben werden.

Bei $n = 2$ erhalten wir $2^{2^n} = 2^4 = 16$ verschiedene Wahrheitstabellen.

Binäre Boolean-Operatoren I

Hier sind alle 16 binären Boolean-Operatoren. Für die Übersicht wurde **TRUE** zu **T** und **FALSE** zu **F** abgekürzt. Es wird bei den Wahrheitstabellen jeweils einer der gebräuchlichen Namen oder Symbole für den Operator angegeben:

A	B	**T**
T	**T**	**T**
T	**F**	**T**
F	**T**	**T**
F	**F**	**T**

A	B	$A \Rightarrow B$
T	**T**	**T**
T	**F**	**F**
F	**T**	**T**
F	**F**	**T**

A	B	$A \vee B$
T	**T**	**T**
T	**F**	**T**
F	**T**	**T**
F	**F**	**F**

A	B	B
T	**T**	**T**
T	**F**	**F**
F	**T**	**T**
F	**F**	**F**

A	B	$A \Leftarrow B$
T	**T**	**T**
T	**F**	**T**
F	**T**	**F**
F	**F**	**T**

A	B	$A \Leftrightarrow B$
T	**T**	**T**
T	**F**	**F**
F	**T**	**F**
F	**F**	**T**

A	B	A
T	**T**	**T**
T	**F**	**T**
F	**T**	**F**
F	**F**	**F**

A	B	$A \wedge B$
T	**T**	**T**
T	**F**	**F**
F	**T**	**F**
F	**F**	**F**

Binäre Boolean-Operatoren II

A	B	A **nand** B
T	**T**	**F**
T	**F**	**T**
F	**T**	**T**
F	**F**	**T**

A	B	$\neg A$
T	**T**	**F**
T	**F**	**F**
F	**T**	**T**
F	**F**	**T**

A	B	A **xor** B
T	**T**	**F**
T	**F**	**T**
F	**T**	**T**
F	**F**	**F**

A	B	A **nif** B
T	**T**	**F**
T	**F**	**F**
F	**T**	**T**
F	**F**	**F**

A	B	$\neg B$
T	**T**	**F**
T	**F**	**T**
F	**T**	**F**
F	**F**	**T**

A	B	A **nor** B
T	**T**	**F**
T	**F**	**F**
F	**T**	**F**
F	**F**	**T**

A	B	$A \not\Rightarrow B$
T	**T**	**F**
T	**F**	**T**
F	**T**	**F**
F	**F**	**F**

A	B	**F**
T	**T**	**F**
T	**F**	**F**
F	**T**	**F**
F	**F**	**F**

Regeln zu den Boolean-Operatoren

Es gelten die folgenden Äquivalenzen:

$$
\begin{aligned}
A \wedge A &\equiv A \\
A \vee A &\equiv A && \text{(Idempotenz)} \\[1em]
A \wedge B &\equiv B \wedge A \\
A \vee B &\equiv B \vee A && \text{(Kommutativität)} \\[1em]
(A \wedge B) \wedge C &\equiv A \wedge (B \wedge C) \\
(A \vee B) \vee C &\equiv A \vee (B \vee C) && \text{(Assoziativität)} \\[1em]
A \wedge (A \vee B) &\equiv A \\
A \vee (A \wedge B) &\equiv A && \text{(Absorption)} \\[1em]
A \wedge (B \vee C) &\equiv (A \wedge B) \vee (A \wedge C) \\
A \vee (B \wedge C) &\equiv (A \vee B) \wedge (A \vee C) && \text{(Distributivität)} \\[1em]
\neg(A \wedge B) &\equiv \neg A \vee \neg B \\
\neg(A \vee B) &\equiv \neg A \wedge \neg B && \text{(de Morgan)} \\[1em]
A \wedge B &\equiv \neg(A \Rightarrow \neg B) \\
A \vee B &\equiv \neg A \Rightarrow B \\
A \Rightarrow B &\equiv \neg A \vee B
\end{aligned}
$$

(partiell übernommen aus dem Werk von U. Schöning)

BOOLEAN-Operatoren in Oberon

Oberon bietet neben der Negation noch vier der binären Boolean-Operatoren an:

Mathematische Schreibweise	Schreibweise in Oberon
$\neg A$	`~A`
$A \wedge B$	`A & B`
$A \vee B$	`A OR B`
$A \Leftrightarrow B$	`A = B`
A **xor** B	`A # B`

Kurzschlußbewertung

- Während in der mathematischen Notation A und B nur die Werte **TRUE** und **FALSE** annehmen können, gibt es in Oberon auch noch die Möglichkeit, daß die Evaluation einer der Operanden entweder undefiniert ist oder zu einem Laufzeitfehler führt.

- Beispiel: Was passiert bei der Bewertung von `(j > 0) & (i MOD j = 0)` falls `j = 0`? Hier würde die Bewertung des rechten Operanden des `&`-Operators zu einem Laufzeitfehler führen.

- Oberon (und viele andere Programmiersprachen) lassen dies zu. Sie bewerten bei `&` und `OR` zunächst den linken Operanden und betrachten den rechten Operanden dann und nur dann, wenn das Resultat tatsächlich davon abhängt. Das wird als **Kurzschlußbewertung** bezeichnet.

- Interpretation von `A & B`:

```
IF A THEN
   result := B; (* B wird bewertet *)
ELSE
   result := FALSE; (* B bleibt unbewertet *)
END;
```

- Interpretation von `A OR B`:

```
IF A THEN
   result := TRUE; (* B bleibt unbewertet *)
ELSE
   result := B; (* B wird bewertet *)
END;
```

- Entsprechend verlieren diese Operatoren die Eigenschaft der Kommutativität in Oberon.

Eine kleine Logelei

Aus den Logeleien von Zweistein (dtv, 1984):

> "Meiers werden uns heute abend besuchen", kündigt Herr Müller an. "Die ganze Familie, also Herr und Frau Meier nebst ihren drei Söhnen Tim, Kay und Uwe?", fragte Frau Müller bestürzt. Darauf Herr Müller, der keine Gelegenheit vorübergehen läßt, seine Frau zum logischen Denken anzureizen: "Nein, ich will es dir so erklären: Wenn Vater Meier kommt, dann bringt er auch seine Frau mit. Mindestens einer der beiden Söhne Uwe und Kay kommt. Entweder kommt Frau Meier oder Tim. Entweder kommen Tim und Kay oder beide nicht. Und wenn Uwe kommt, dann auch Kay und Herr Meier. So, jetzt weißt du, wer uns heute abend besuchen wird."

Gegeben sind also 5 Variablen, die die Mitglieder der Familie Meier repräsentieren. In unserer Interpretation sind diese Variablen **TRUE**, falls die entsprechende Person kommt, ansonsten **FALSE**. Der informelle Text entspricht einer Formel der Aussagenlogik dieser fünf Variablen. Gesucht ist eine Belegung der fünf Variablen, so daß die Formel **TRUE** wird.

Eine kleine Logelei

- Die Variablen:
  H Herr Meier
  F Frau Meier
  T Tim
  K Kay
  U Uwe

- Erste Teilaussage: "Wenn Vater Meier kommt, dann bringt er auch seine Frau mit."
  $H \Rightarrow F$

- Zweite Teilaussage: "Mindestens einer der beiden Söhne Uwe und Kay kommt."
  $U \vee K$

- Dritte Teilaussage: "Entweder kommt Frau Meier oder Tim."
  F **xor** T

- Vierte Teilaussage: "Entweder kommen Tim und Kay oder beide nicht."
  $T \Leftrightarrow K$

- Fünfte Teilaussage: "Und wenn Uwe kommt, dann auch Kay und Herr Meier."
  $U \Rightarrow (K \wedge H)$

- Zusammengefaßt:
  $(H \Rightarrow F) \wedge (U \vee K) \wedge (F \textbf{ xor } T) \wedge (T \Leftrightarrow K) \wedge (U \Rightarrow (K \wedge H))$

Logelei in Oberon

FamilieMeier.om

```
VAR
   herr, frau, tim, kay, uwe: BOOLEAN;
   a1, a2, a3, a4, a5: BOOLEAN;
```

- Die **BOOLEAN**-Variablen **herr** bis **uwe** werden so interpretiert, daß bei einem Wert von **TRUE** die betreffende Person zu Besuch kommt.
- Aus Gründen der Übersichtlichkeit stehen die Variablen **a1** bis **a5** für die Resultate der einzelnen Teilaussagen.
- Für eine gegebene Belegung der Variablen **herr** bis **uwe** liefert folgender Programmtext die Erkenntnis, ob die Belegung die Gesamtbedingung erfüllt:

FamilieMeier.om

```
a1 := ~herr OR frau;
a2 := uwe OR kay;
a3 := frau # tim;
a4 := tim = kay;
a5 := ~uwe OR kay & herr;
IF a1 & a2 & a3 & a4 & a5 THEN
   Write.Line("Loesung gefunden:");
   IF herr THEN Write.Line("Herr Meier kommt") END;
   IF frau THEN Write.Line("Frau Meier kommt") END;
   IF tim THEN Write.Line("Tim kommt") END;
   IF kay THEN Write.Line("Kay kommt") END;
   IF uwe THEN Write.Line("Uwe kommt") END;
END;
```

Erzeugung aller Möglichkeiten

- Gegeben sei ein endlicher Raum für n-Tupel aus $R = R_1 \times \cdots \times R_n$.
- Problem: Wie erhalten wir alle möglichen Tupel aus R?
- Lösung: Wir verwenden n ineinander verschachtelte Schleifen. Die erste Schleife iteriert durch alle Werte von R_1, die zweite durch alle Werte von R_2 usw.
- Schematischer Aufbau in Pseudo-Code:

```
FOREACH i_1 IN R_1 DO
    FOREACH i_2 IN R_2 DO
        ...
            FOREACH i_n IN R_n DO
                Betrachte Tupel (i_1, i_2, ..., i_n)
            END
        ...
    END
END
```

Erzeugung aller Möglichkeiten in Oberon

- In Oberon gibt es keine **FOREACH**-Anweisung. Also muß eine der anderen Schleifenkonstruktionen verwendet werden.

- Im Falle eines ganzzahligen Intervalls $[a..b]$ geht dies beispielsweise mit einer **WHILE**-Schleife:

  i := a;
  WHILE $i \leq b$ **DO**
      Wert aus $[a..b]$ *betrachten*
      INC(i **)**
  END

- Ähnlich läßt sich das auch beim Datentyp **CHAR** erledigen.

- Für den seltenen Fall, daß die Obergrenze b auch zugleich die Obergrenze des Datentyps ist, muß eine andere Konstruktion verwendet werden:

  i := a;
  LOOP
      Wert aus $[a..b]$ *betrachten*
      IF $i = b$ **THEN EXIT END;**
      INC(i **)**
  END

  Hier gilt aber die Annahme, daß $a \leq b$!

Iteration bei BOOLEAN

- Beim Datentyp **BOOLEAN** empfiehlt sich die Verwendung einer **REPEAT**-Schleife:

  i := **FALSE;**
  REPEAT
      Wert aus {**FALSE**, **TRUE**} *betrachten*
      $i := \sim i$
  UNTIL $\sim i$

FamilieMeier.om

```
herr := FALSE;
REPEAT
   frau := FALSE;
   REPEAT
      tim := FALSE;
      REPEAT
         kay := FALSE;
         REPEAT
            uwe := FALSE;
            REPEAT
               (* Untersuchung der Belegung *)
               uwe := ~uwe;
            UNTIL ~uwe;
            kay := ~kay;
         UNTIL ~kay;
         tim := ~tim;
      UNTIL ~tim;
      frau := ~frau;
   UNTIL ~frau;
   herr := ~herr;
UNTIL ~herr;
```

Typen in Oberon

Jede Variable und jeder Wert hat einen Typ in Oberon. Der Typ legt fest, welche Operationen zulässig sind und welche Semantik sie haben. Es gibt sowohl vordefinierte Typen in Oberon und Typkonstruktoren, mit denen neue Typen erzeugt werden können. Im Überblick:

- Basistypen: **SHORTINT**, **INTEGER**, **LONGINT**, **REAL**, **LONGREAL**, **CHAR**, **BYTE**, **BOOLEAN**, **SET**.
- Arrays: Feste Anzahl von Elementen gleichen Typs, die indiziert werden mit ganzen Zahlen ab 0.
- Records: Kombination mehrerer Typen zu einem Verbund.
- Prozedurtypen
- Zeigertypen (werden erst in Allgemeine Informatik II vorgestellt).

Wichtig: Die Typen stehen grundsätzlich bereits zur Übersetzzeit fest und hängen nicht vom Laufzeitverhalten ab. (Ausnahmen gibt es später in Oberon bei Typerweiterungen, die erst in Allgemeine Informatik II behandelt werden).

Numerische Datentypen

- Die numerischen Datentypen sind in Oberon hierarchisch angeordnet:
  SHORTINT $\subset$ **INTEGER** $\subset$ **LONGINT** $\subset \cdots$
  $\cdots \subset$ **REAL** $\subset$ **LONGREAL**

- Grundsätzlich sind Operationen mit Operanden unterschiedlicher numerischer Datentypen möglich. In diesem Falle findet im Vorfeld immer einer Konvertierung des kleineren Datentyps zum umfangreicheren Datentyp statt. Das Resultat ist dann vom umfangreicheren Typ.

- Wird der Operator "/" auf zwei ganzzahlige Operanden angewendet, so werden beide Operanden zu **REAL** konvertiert und das Resultat ist ebenfalls von diesem Typ.

- Wichtig: Alle Typen stehen bereits zur Übersetzzeit fest. Das bedeutet beispielsweise, daß auch dann bei "/" eine Konvertierung zu **REAL** stattfindet, wenn das konkrete Resultat zur Laufzeit ganzzahlig ist.

- Repräsentierungen beim Ulmer Oberon-System:

SHORTINT	8 Bit	[−128..127]
INTEGER	32 Bit	[−2147483648..2147483647]
LONGINT	32 Bit	[−2147483648..2147483647]
REAL	64 Bit	-1.79E+308 .. 1.79E+308
LONGREAL	64 Bit	-1.79E+308 .. 1.79E+308

- Gleitkommazahlen werden entsprechend IEEE 754-1985 repräsentiert.

Gleitkommazahlen nach IEEE 754-1985

- Standard für die Repräsentierung von Gleitkommazahlen und der zugehörigen arithmetischen Operationen. Wird von allen gängigen Prozessoren heute unterstützt.

- Die Repräsentierung besteht aus der Mantisse $(d_0, d_1, \cdots, d_{p-1}) \in \{0, 1\}^p$, dem Exponenten $e \in [e_{min}..e_{max}] \subset \mathbb{Z}$ und einem Vorzeichenbit $s \in \{-1, 1\}$. Interpretation:

$$s \left(\sum_{i=0}^{p-1} d_i 2^{-i} \right) 2^e$$

- Mehrere Repräsentierungen können für einen Wert möglich sein. Beispiel: $\frac{1}{2}$ kann repräsentiert werden als
  $d_0 = 1,\ d_i = 0\ \forall\ i = 1..p-1,\quad e = -1,\ s = 1$
  und auch als
  $d_0 = 0,\ d_1 = 1,\ d_i = 0\ \forall\ i = 2..p-1,\quad e = 0,\ s = 1.$

- Im Falle von $d_0 = 1$ wird von einer **normalisierten** Repräsentierung gesprochen.

- Literatur: David Goldberg, “What Every Computer Scientist Should Know about Floating-Point Arithmetic”
  `http://www.validlab.com/goldberg/paper.ps`

Gleitkommazahlen nach IEEE 754-1985

FPDemo.om

```
MODULE FPDemo;
   IMPORT Write;
   VAR
      x: REAL; i: INTEGER;
BEGIN
   x := 0; i := 0;
   WHILE i < 10 DO
      x := x + 0.1;
      INC(i);
   END;
   IF x = 1.0 THEN
      Write.Line("Exaktes Resultat!");
   ELSE
      Write.String("Ungenauigkeit: ");
      Write.Real(x - 1.0, 1);
      Write.Ln;
   END;
END FPDemo.
```

- Nicht nur irrationale Zahlen können nicht präzise dargestellt werden, sondern auch viele rationale Zahlen.
  Beispiel: Für 0,1 (Dezimaldarstellung) gibt es keine exakte Darstellung.

```
doolin$ FPDemo
Ungenauigkeit: -1.110223D-0016
doolin$
```

Gleitkommazahlen nach IEEE 754-1985

FPRepr.om

```
MODULE FPRepr;

   IMPORT Read, Reals, Streams, Write;

   VAR
      x: LONGREAL; (* input variable *)
      exponent: INTEGER; (* exponent of x *)
      mantissa: LONGREAL; (* mantissa of x *)
      neg: BOOLEAN; (* negative? *)
      ndigits: INTEGER; (* # of digits in digits *)
      digits: ARRAY 64 OF CHAR; (* binary digits *)
BEGIN
   LOOP
      Write.String("x = "); Read.LongReal(x);
      IF Streams.stdin.count = 0 THEN EXIT END;
      Reals.ExpAndMan(x, (* long = *) TRUE,
                      (* base = *) 2,
                      exponent, mantissa);
      Write.String("exponent = "); Write.Int(exponent, 1);
      Write.Ln;
      ndigits := 0; (* generate all significant digits *)
      Reals.Digits(mantissa, (* base = *) 2, digits, neg,
                   (* force = *) FALSE, ndigits);
      Write.String("mantissa = "); Write.Line(digits);
   END;
END FPRepr.
```

Gleitkommazahlen nach IEEE 754-1985

```
doolin$ FPRepr
x = 1
exponent = 0
mantissa = 1
x = 2
exponent = 1
mantissa = 1
x = 57
exponent = 5
mantissa = 111001
x = 0.75
exponent = -1
mantissa = 11
x = 0.1
exponent = -4
mantissa = 11001100110011001100110011001100110011001100110011001101
x = doolin$
```

Arrays

- Ein Array ist ein Verbund von n Variablen des gleichen Typs für ein beliebiges aber festes $n \in \mathbb{N}$.

- Syntax:

$$\langle \text{ArrayType} \rangle \quad \longrightarrow \quad \text{“ARRAY”} \ \langle \text{Length} \rangle \ \{ \ \text{“,”} \ \langle \text{Length} \rangle \ \} \ \text{“OF”} \langle \text{Type} \rangle$$

- Beispiele: `VAR vector: ARRAY 3 OF REAL;`
  `VAR matrix: ARRAY 3, 3 OF REAL;`

- Die i-te Variable eines Arrays wird über einen ganzzahligen Index angesprochen mit $i \in [0..n-1]$. Im Beispiel gibt es also `vector[0]`, `vector[1]` und `vector[2]`. Die Verwendung eines Indizes außerhalb des zulässigen Bereiches führt zu einem Laufzeitfehler.

- Bei den Indizes sind beliebige Ausdrücke zulässig, deren Resultat von einem ganzzahligen Typ ist.

Zufälliges Mischen

- Folgender Algorithmus von R. A. Fisher und F. Yates (1938) findet sich im Band 2 des Werks “The Art of Computer Programming” von D. Knuth:

- **Algorithm P** (*Shuffling*). Let $X_1, X_2, \cdots, X_t$ be a set of t numbers to be shuffled.

  P1. [Initialize.] Set $j \leftarrow t$.

  P2. [Generate U.] Generate a random number U, uniformely distributed between zero and one.

  P3. [Exchange.] Set $k \leftarrow \lfloor jU \rfloor + 1$. (Now k is a random integer, between 1 and j). Exchange $X_k \leftrightarrow X_j$.

  P4. [Decrease j.] Decrease j by 1. If $j > 1$, return to step P2.

Datenstrukturen für das Mischen

ShuffleInts.om

```
CONST
   maxlen = 32;
VAR
   value: ARRAY maxlen OF INTEGER; (* to be shuffled *)
   len: INTEGER; (* value[0]..value[len-1] are in use *)
   j, k: INTEGER; (* indices of value *)
   randomval: REAL; (* pseudo-random out of [0..1) *)
   tmp: INTEGER; (* used during an exchange *)
```

- Da die Zahl der zu mischenden Zahlen nicht im voraus bekannt ist, legen wir mit **maxlen** eine obere Grenze fest und deklarieren entsprechend ein Array **value** mit **maxlen** Variablen.

- Zu beachten ist nur, daß im Algorithmus mit 1 beginnend indiziert wird, während in Oberon die Indizierung ab 0 erfolgt.

- Beim Einlesen merken wir uns in **len** die Zahl der eingelesenen Werte. Danach werden nur `value[0]` bis `value[len-1]` betrachtet. Die Variable **len** entspricht dem t aus dem Algorithmus.

- Die Variablen **j** und **k** werden analog zum Algorithmus verwendet.

- Die Variable **randomval** entspricht dem U und wird pseudozufällig bestimmt.

- Für den Austausch im Schritt P3 wird die Hilfsvariable **tmp** benötigt.

Einlesen der zu mischenden Werte

ShuffleInts.om

```
len := 0;
LOOP
   Read.Int(value[len]);
   IF Streams.stdin.count = 0 THEN EXIT END;
   INC(len);
   IF len = maxlen THEN EXIT END;
END;
```

- Der Inhalt der Variablen **len** entspricht genau der Zahl der erfolgreich eingelesenen Werte.

- Die Schleife wird beendet, sobald wir keine Zahl einlesen konnten oder das Array vollständig gefüllt ist.

- Auf eine Fehlermeldung für den Fall, daß das Array zu klein ist, wurde verzichtet. In diesem Falle werden die überzähligen Zahlen stillschweigend nicht eingelesen.

Der Misch-Algorithmus

ShuffleInts.om

```
IF len > 1 THEN
   (* Algorithm P: Shuffling *)
   j := len; (* P1 *)
   REPEAT
      randomval := RandomGenerators.RealVal(); (* P2 *)
      k := SHORT(ENTIER(j * randomval)); (* P3 *)
      (* P4: exchange value[k] and value[j-1] *)
      tmp := value[k];
      value[k] := value[j-1];
      value[j-1] := tmp;
      DEC(j); (* P4 *)
   UNTIL j = 1;
END;
```

- Das Modul **RandomGenerators** liefert gleichförmig verteilte Pseudo-Zufallszahlen. **RealVal** liefert hier einen gleichverteilten Wert aus [0..1).

- **ENTIER** entspricht den abrundenden Gauß'schen Klammern $\lfloor \cdots \rfloor$. Da **ENTIER** den Datentyp **LONGINT** liefert, während **k** vom Typ **INTEGER** ist, ist **SHORT** notwendig für die Konvertierung von **LONGINT** zu **INTEGER**.

- Bei P4 muß darauf geachtet werden, daß in Oberon die Indizierung bei 0 beginnt. Entsprechend ist j-1 anstelle von j anzugeben.

Ausgabe des Arrays

ShuffleInts.om

```
(* print shuffled values *)
j := 0;
WHILE j < len DO
   Write.Int(value[j], 1); Write.Ln;
   INC(j);
END;
```

- Am Ende sind die Werte `value[0]` bis `value[len-1]` auszugeben.

Zählen von Buchstaben

- Problem: Für jeden in der Eingabe vorkommenden Buchstaben ist die Häufigkeit anzugeben.

- Groß- und Kleinbuchstaben sind dabei als äquivalent zu betrachten.

- Ideal wäre ein Array, das mit Buchstaben indiziert werden kann. Da das in Oberon nicht umsetzbar ist, müssen die Buchstaben “A”..“Z” in den Zahlenbereich 0..25 abgebildet werden.

- Konstanten wie 25 oder 26, die überall im Programmtext verstreut sind, erschweren die Lesbarkeit des Programms, da dann häufig die Frage auftaucht, wofür die Zahl steht und ob diese Konstante mit anderen Konstanten zusammenhängt.

- Deswegen sollten Konstanten mit Hilfe von **CONST** einen Namen erhalten und anschließend sollte nur noch der Name verwendet werden.

LetterCount.om

```
CONST
   letters = ORD("Z") - ORD("A") + 1;
VAR
   count: ARRAY letters OF INTEGER;
   i: INTEGER; (* index of count *)
   ch: CHAR; (* input character *)
   letter: BOOLEAN; (* is ch a letter? *)
```

Zählen von Buchstaben

LetterCount.om

```
(* count letters *)
WHILE Streams.ReadByte(Streams.stdin, ch) DO
   CASE ch OF
   | "a".."z":
      (* convert it to upper-case *)
      ch := CAP(ch);
      letter := TRUE;
   | "A".."Z":
      letter := TRUE;
   ELSE
      letter := FALSE;
   END;
   IF letter THEN
      i := ORD(ch) - ORD("A");
      INC(count[i]);
   END;
END;
```

- **Streams.ReadByte** liest ein Zeichen von dem angegebenen Stream und liefert **TRUE**, falls die Operation erfolgreich war. Die Verwendung von **Streams.ReadByte** führt im Vergleich zu **Read.Char** zu eleganteren Schleifen.

- Mit **CAP** werden Kleinbuchstaben zu Großbuchstaben konvertiert.

Zählen von Buchstaben

LetterCount.om

```
(* print counts *)
i := 0;
WHILE i < letters DO
   IF count[i] > 0 THEN
      Write.Char(CHR(i + ORD("A")));
      Write.String(": ");
      Write.Int(count[i], 1);
      Write.Ln;
   END;
   INC(i);
END;
```

- Für die Ausgabe muß der Index **i** jeweils in einen Buchstaben abgebildet werden. Dies geschieht, indem zunächst zu **i** der Ordinalwert von "A" addiert wird. Danach konvertiert **CHR** den so gewonnen Ordinalwert in ein Zeichen.

Typ für kleine Mengen: SET

- Oberon bietet einen Basistyp für kleine Mengen an: **SET**.
- Mögliche Elemente einer Menge vom Typ **SET** sind die ganzen Zahlen zwischen 0 und `MAX(SET)`.
- Bei unserer Implementierung hat `MAX(SET)` den Wert 31.
- Größere Mengen werden über Arrays realisiert. Das wird vom Modul **Sets** unterstützt.
- Beispiel: `VAR set: SET;`
- Mengen können mit geschweiften Klammern konstruiert werden.
  Beispiel: `set := {3, 4, 7..10, i-1..j};`
- Operatoren für Mengen:

`s1 + s2`	Mengen-Vereinigung: $s_1 \cup s_2$
`s1 - s2`	Mengen-Differenz: $s_1 \backslash s_2$
`s1 * s2`	Schnitt-Menge: $s_1 \cap s_2$
`s1 / s2`	Symmetrische Differenz: $s_1 \ominus s_2$
`-s`	Komplement: s'
`s1 = s2`	Test auf Gleichheit: $s_1 = s_2$
`s1 # s2`	Test auf Ungleichheit: $s_1 \neq s_2$
`i IN s`	Test auf Mengenzugehörigkeit: $i \in s$
`INCL(s1,i)`	äquivalent zu `s1 := s1 + {i}`;
`EXCL(s1,i)`	äquivalent zu `s1 := s1 - {i}`;

Transitive Hüllen

- Gegeben seien n Netzwerkknoten, die teilweise miteinander (bidirektional) verbunden sind. Wenn die Knoten A und B miteinander verbunden sind und Knoten B mit Knoten C eine Verbindung unterhält, dann ist C auch von A aus erreichbar (Transitivität).

- Probleme: Welche Knoten sind von einem gegebenen Knoten aus erreichbar? Wieviele unabhängige "Inseln" liegen vor, die nicht miteinander verbunden sind, und wie sehen diese aus?

- Formal läßt sich das als Relation $N \subset [1..n] \times [1..n] \subset \mathbb{N}^2$ betrachten, die reflexiv, transitiv und symmetrisch ist.

- Spezifiziert werden kann die Relation durch eine Menge von direkt miteinander verbundenen Paaren (a_i, b_i), wobei wegen der Reflexivität (a_i, a_i) und (b_i, b_i) und wegen der Symmetrie (b_i, a_i) implizit angenommen werden.

- Zusätzlich müssen die transitiven Hüllen berechnet werden, d.h. falls (a, b) und (b, c) in der Relation enthalten sind, muß auch (a, c) aufgenommen werden.

- Beispiel: Gegeben seien die Paare $(1, 2), (3, 4), (5, 2), (6, 3), (7, 1)$, dann ist die transitive Hülle von 1 gleich $\{1, 2, 5, 7\}$ und die von 3 gleich $\{3, 4, 6\}$.

Datenstruktur für die Relation

FindConnectedNetworks.om

```
CONST
   (* we support node numbers from 0 to maxnode *)
   maxnode = MAX(SET);
   nodes = maxnode + 1;
VAR
   connected: ARRAY nodes OF SET;
      (* connected[i] = set of nodes i is connected to *)
   node: INTEGER; (* index of connected *)
   seen: SET; (* set of nodes seen in input *)
   node1, node2: INTEGER; (* pair of nodes *)
   closure: SET; (* transitive closure of a node *)
   printed: SET; (* set of printed nodes *)
```

- Wir nehmen hier an, daß $n \leq$ `MAX(SET) + 1`.
- Entsprechend repräsentiert `connected[i]` die Menge $\{j \mid (i,j) \in N\}$.
- Um nur die Knoten zu berücksichtigen, die tatsächlich in der Eingabe erwähnt wurden, wird in der Menge **seen** die Menge aller eingelesenen Knotennummern notiert.
- **node1** und **node2** repräsentieren jeweils ein Knotenpaar.
- **closure** wird bei der Berechnung der transitiven Hülle benötigt.
- Bei der Ausgabe soll jeder Knoten nur einmal ausgegeben werden. Das wird mit Hilfe der Menge **printed** sichergestellt.

Datenstruktur für die Relation

FindConnectedNetworks.om

```
(* initializations *)
node := 0;
WHILE node < nodes DO
   connected[node] := {};
   INC(node);
END;
seen := {};
```

- Vor dem Einlesen muß die Datenstruktur initialisiert werden.
- {} repräsentiert die leere Menge.

Einlesen der Knotenpaare

FindConnectedNetworks.om

```
(* read pairs of connected nodes *)
LOOP
   Read.Int(node1);
   IF Streams.stdin.count = 0 THEN EXIT END;
   IF (node1 < 0) OR (node1 > maxnode) THEN
      Write.Line("Invalid node number!");
      EXIT
   END;
   Read.Int(node2);
   IF Streams.stdin.count = 0 THEN
      Write.Line("Odd number of integers in input!");
      EXIT
   END;
   IF (node2 < 0) OR (node2 > maxnode) THEN
      Write.Line("Invalid node number!");
      EXIT
   END;
   (* connections are bidirectional *)
   INCL(connected[node1], node2);
   INCL(connected[node2], node1);
   INCL(seen, node1); INCL(seen, node2);
END;
```

- Beim Eintragen in die Datenstruktur wird zunächst nur die Symmetrie berücksichtigt. Die transitiven Hüllen werden erst nach dem Einlesen aller Paare berechnet. Die Reflexivität ergibt sich dann implizit aus der Symmetrie, der Transitivität und der Tatsache, daß jeder vorkommende Knoten mindestens mit einem anderen Knoten in Verbindung steht. (Ein isolierter Knoten kann dann immer noch als Paar mit sich selbst spezifiziert werden).

Berechnen der transitiven Hülle

Gegeben sei die Relation R und $a \in R$. Dann läßt sich die transitive Hülle folgendermaßen bestimmen:

T1. Setze $C \leftarrow \{a\}$.

T2. Setze $C' \leftarrow C$.

T3. Bestimme für jedes $c \in C$ die Menge $T = \{t \mid (c,t) \in R\}$.

T4. Setze $C \leftarrow C \cup T$.

T5. Springe zu T2, falls $C \neq C'$.

Berechnen der transitiven Hülle

FindConnectedNetworks.om

```
(* compute transitive closures *)
node1 := 0;
WHILE node1 < nodes DO
   IF connected[node1] # {} THEN
      closure := connected[node1];
      LOOP
         node2 := 0;
         WHILE node2 < nodes DO
            IF node2 IN closure THEN
               closure := closure + connected[node2];
            END;
            INC(node2);
         END;
         IF closure = connected[node1] THEN
            EXIT
         END;
         connected[node1] := closure;
      END;
   END;
   INC(node1);
END;
```

- Zu beachten ist, daß T3 zwei ineinander geschachtelte Schleifen benötigt. Die äußere Schleife durchläuft alle $c \in C$ (in Oberon alle `node2 IN closure`) und die innere berechnet jeweils $T = \{t \mid (c, t) \in R\}$.

- In Oberon werden die Resultate von T3 sogleich entsprechend dem Schritt T4 in C aufgesammelt.

Ausgabe der transitiven Hüllen

FindConnectedNetworks.om

```
(* print connected networks *)
printed := {};
node1 := 0;
WHILE node1 < nodes DO
   IF (node1 IN seen) & ~(node1 IN printed) THEN
      node2 := 0;
      WHILE node2 < nodes DO
         IF node2 IN connected[node1] THEN
            Write.Int(node2, 3);
            INCL(printed, node2);
         END;
         INC(node2);
      END;
      Write.Ln;
   END;
   INC(node1);
END;
```

- Um die mehrfache Ausgabe der gleichen transitiven Hülle (für alle darin enthaltenen Knoten) zu vermeiden, wird mittels der Menge **printed** notiert, welche Knoten bereits ausgegeben worden sind.

- Ein Schleifendurchlauf wird (im Normalfall) gespart, indem wir sogleich von `connected[node1]` ausgehen und nicht nur von `{node1}`.

Records

- Ein Record ist ein Verbund mehrerer Variablen (Felder genannt), die unterschiedlichen Typs sein können.
- Die einzelnen Felder eines Records erhalten dabei Namen.
- Syntax:

$$
\begin{array}{rcl}
\langle \text{RecordType} \rangle & \longrightarrow & \text{“RECORD” [“(”} \langle \text{BaseType} \rangle \text{ “)”]} \\
 & & \langle \text{FieldListSequence} \rangle \text{“END”} \\
\langle \text{BaseType} \rangle & \longrightarrow & \langle \text{QualIdent} \rangle \\
\langle \text{FieldListSequence} \rangle & \longrightarrow & \langle \text{FieldList} \rangle \ \{ \text{ “;”} \langle \text{FieldList} \rangle \ \} \\
\langle \text{FieldList} \rangle & \longrightarrow & [\langle \text{IdentList} \rangle \text{ “:” } \langle \text{Type} \rangle]
\end{array}
$$

- Beispiele:

```
TYPE Name = ARRAY 80 OF CHAR;
TYPE Datum = RECORD tag, monat: SHORTINT; jahr: INTEGER END;
TYPE Person = RECORD name: Name; gebdatum: Datum END;
VAR person1, person2: Person;
```

- `person1` bezeichnet dann eine vollständige Person und bei `person1 := person2;` werden alle Felder von `person2` zu `person1` kopiert.
- Einzelne Felder lassen sich mit dem Punkt selektieren, so steht `person1.name` für den Namen von `person1` und `person1.gebdatum.monat` für den Geburtsmonat von `person1`.

Ein kleines Adreßbuch

- Zu implementieren ist ein kleines Adreßbuch fester Größe mit 16 Einträgen, in die jeweils Namen und Ortschaften eingetragen werden können.

- Adressen sollen interaktiv eingegeben, aufgelistet und gelöscht werden können.

- So könnte die Datenstruktur dafür aussehen:

AddressBook.om

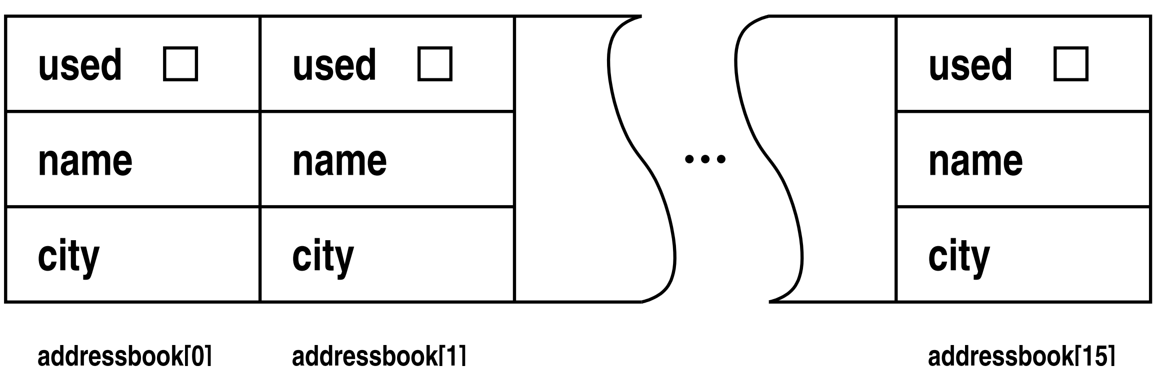
```
CONST
   maxentries = 16;
      (* maximal number of entries in an address book *)
TYPE
   Name = ARRAY 80 OF CHAR;
   Entry =
      RECORD
         used: BOOLEAN; (* is this entry in use? *)
         name: Name;
         city: Name;
      END;
   AddressBook = ARRAY maxentries OF Entry;
VAR
   addressBook: AddressBook;
   index: INTEGER; (* of addressBook *)
   command: ARRAY 16 OF CHAR; (* command read from input *)
   entry: Entry; (* a new entry; used by ‘‘new’’ *)
   name: Name; (* used as arg for ‘‘search’’ or ‘‘delete’’ *)
```

Ein kleines Adreßbuch

AddressBook.om

```
(* initialize address book: mark all entries as unused *)
index := 0;
WHILE index < maxentries DO
   addressBook[index].used := FALSE;
   INC(index);
END;
```

- Zu Beginn werden alle Einträge des Adreßbuches als ungenutzt markiert, d.h. das Feld **used** ist jeweils auf **FALSE** zu setzen.
- Die übrigen Felder bleiben undefiniert.
- Danach sieht das Adreßbuch etwa folgendermaßen aus:

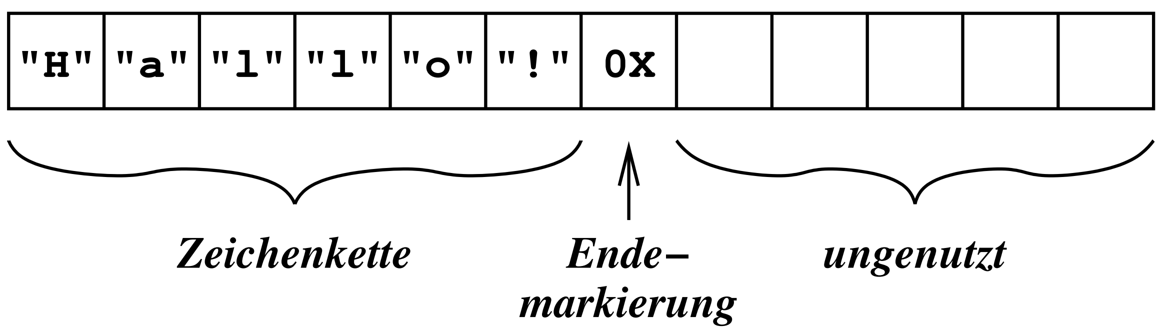


Zeichenketten in Oberon

- Für Zeichenketten werden in diesem Beispiel festdimensionierte Arrays mit **CHAR** als Elementtyp verwendet.

- Da die Zeichenketten normalerweise etwas kürzer sind, wird jeweils ein Nullbyte (0X) als Endzeichen verwendet.

- Folgendes Beispiel zeigt ein `ARRAY 12 OF CHAR`, das mit der Zeichenkette "Hallo!" gefüllt wurde:



- Die Operatoren = und # sind für beliebige Zeichenketten in Oberon zulässig.

- Die Zuweisung klappt nur, wenn beide Seiten den identischen Typ haben. In den anderen Fällen empfiehlt sich die Verwendung von **COPY**. Beispiel:

```
VAR a: ARRAY 12 OF CHAR;
VAR b: ARRAY 32 OF CHAR;
(* ... *)
COPY(b, a); (* a := b *)
```

  Wenn die Zeichenkette von **b** länger ist als der Platz in **a**, dann wird entsprechend abgeschnitten.

Einlesen von Kommandos

AddressBook.om

```
LOOP
   Write.String("address book> ");
   Read.Line(command);
   IF Streams.stdin.count = 0 THEN EXIT END;
   IF command = "quit" THEN EXIT END;
   IF command = "new" THEN
      (* fill new entry *)
   ELSIF command = "list" THEN
      (* list all entries *)
   ELSIF command = "search" THEN
      (* search for an entry by a name *)
   ELSIF command = "delete" THEN
      (* delete an entry with the given name *)
   ELSIF command = "help" THEN
      (* print help information *)
   ELSE
      Write.Line("Unknown command. Please try ‘‘help’’!");
   END;
END;
```

- **Read.Line** liest eine vollständige Zeile ein und legt den Zeileninhalt (soweit es geht) ohne den Zeilentrenner in dem übergebenen Array ab.

- Die **CASE**-Anweisung ist nicht für Zeichenketten zulässig. Entsprechend muß ersatzweise eine **ELSIF**-Kette verwendet werden.

Einfügen neuer Einträge

AddressBook.om

```
(* fill new entry *)
entry.used := TRUE;
Write.String("Name: "); Read.Line(entry.name);
Write.String("City: "); Read.Line(entry.city);
(* look for a free slot *)
index := 0;
WHILE (index < maxentries) & addressBook[index].used DO
   INC(index);
END;
IF index = maxentries THEN
   Write.Line("Sorry, your address book is already full!");
ELSE
   addressBook[index] := entry;
END;
```

- Zunächst werden in **entry** alle Angaben eingetragen.
- Danach wird nach einem freien Eintrag im Adreßbuch gesucht.
- Records des identischen Typs können einander zugewiesen werden. Dann werden sämtliche Felder kopiert.

Ausgabe aller Einträge

AddressBook.om

```
(* list all entries *)
index := 0;
WHILE index < maxentries DO
   IF addressBook[index].used THEN
      Write.String(addressBook[index].name);
      Write.String(", ");
      Write.Line(addressBook[index].city);
   END;
   INC(index);
END;
```

- Bei der Ausgabe dürfen wir nur die tatsächlich genutzten Einträge berücksichtigen.

Suche nach einem Namen

AddressBook.om

```
(* search for an entry by a name *)
Write.String("Name: "); Read.Line(name);
index := 0;
WHILE (index < maxentries) &
      (~addressBook[index].used OR
         (addressBook[index].name # name)) DO
   INC(index);
END;
IF index = maxentries THEN
   Write.Line("Sorry, not found!");
ELSE
   Write.String(addressBook[index].name);
   Write.String(", ");
   Write.Line(addressBook[index].city);
END;
```

- Die **WHILE**-Schleife darf erst beendet werden, wenn wir das Adreßbuch vollständig durchgeschaut haben oder wir einen Eintrag mit dem gewünschten Namen gefunden haben. Bei letzterem dürfen natürlich nur genutzte Einträge betrachtet werden.

- Alternativ könnte die **WHILE**-Bedingung nach der Anwendung der de Morgan'schen Regel auch so formuliert werden:

  ```
  WHILE (index < maxentries) &
        ~(addressBook[index].used &
           (addressBook[index].name = name)) DO
  ```

  Welche Variante nun bevorzugt wird, ist Geschmackssache.

Löschen von Einträgen

AddressBook.om

```
(* delete an entry with the given name *)
Write.String("Name: "); Read.Line(name);
index := 0;
WHILE (index < maxentries) &
      (~addressBook[index].used OR
         (addressBook[index].name # name)) DO
   INC(index);
END;
IF index = maxentries THEN
   Write.Line("Sorry, not found!");
ELSE
   addressBook[index].used := FALSE;
END;
```

- Das Löschen ist sehr ähnlich zum Suchen. Nur wird der Eintrag nicht ausgegeben, sondern das **used**-Feld wird nur auf **FALSE** gesetzt.

Prozeduren

AddressBook.om

```
index := 0;
WHILE (index < maxentries) &
      (~addressBook[index].used OR
         (addressBook[index].name # name)) DO
   INC(index);
END;
```

- Dieser Programmtext kommt im letzten Beispiel zweifach vor: Zum einen bei der Bearbeitung des Suche-Befehls und zum anderen beim Löschen.
- Bei größeren Programmen ist das sehr ungeschickt, da dann notwendige Änderungen (Fehlerbehebungen oder Anpassungen der Datenstruktur) an unnötig vielen Stellen durchgeführt werden müssen.
- Deswegen ist es sinnvoll, mehrfach benötigten Programmtext separat aufzuschreiben, ihn zu benennen und an verschiedenen Stellen über den Namen aufzurufen. Der herausgetrennte Programmtext nennt sich dann eine **Prozedur**.
- Prozeduren sind auch dann sinnvoll, wenn sie nur an einer Stelle aufgerufen werden, da sie sehr zur Übersicht eines Programmes beitragen.

Prozeduren in Oberon

AddressBook2.om

```
PROCEDURE SearchByName(addressBook: AddressBook;
                       name: Name;
                       VAR index: INTEGER) : BOOLEAN;
   (* search for the first entry with the given name
      in the address book;
      set index to its array index and return TRUE,
      if successful; return FALSE otherwise
   *)
BEGIN
   index := 0;
   WHILE (index < maxentries) &
         (~addressBook[index].used OR
            (addressBook[index].name # name)) DO
      INC(index);
   END;
   RETURN index < maxentries
END SearchByName;
```

- Prozeduren bestehen aus einem Namen (hier **SearchByName**), dann einer Reihe von formalen Parametern (hier **addressBook**, **name** und **index**), einem optionalen Typ bei Funktionen, lokalen Deklarationen (fehlen hier) und Programmtext.

Syntax von Prozeduren

AddressBook2.om

```
PROCEDURE SearchByName(addressBook: AddressBook;
                       name: Name;
                       VAR index: INTEGER) : BOOLEAN;
```

- Die **formale Parameterliste** sieht ähnlich aus wie Variablendeklarationen. Allerdings hat **VAR** hier eine völlig andere Bedeutung.

- Vollständige Syntax für Prozeduren:

⟨ProcedureDeclaration⟩	$\longrightarrow$	⟨ProcedureHeading⟩ ";" ⟨ProcedureBody⟩ ⟨Ident⟩
⟨ProcedureHeading⟩	$\longrightarrow$	"PROCEDURE" ["*"] ⟨Ident⟩ [⟨FormalParameters⟩]
⟨ForwardDeclaration⟩	$\longrightarrow$	"PROCEDURE" " ↑ " ⟨Ident⟩ [⟨FormalParameters⟩]
⟨FormalParameters⟩	$\longrightarrow$	"(" [⟨FPSection⟩ { ";" ⟨FPSection⟩ }] ")" [":" ⟨QualIdent⟩]
⟨FPSection⟩	$\longrightarrow$	["VAR"] ⟨IdentList⟩ ":" ⟨FormalType⟩
⟨FormalType⟩	$\longrightarrow$	{ "ARRAY" "OF" } ⟨QualIdent⟩
⟨QualIdent⟩	$\longrightarrow$	[⟨Ident⟩ "."] ⟨Ident⟩
⟨ProcedureBody⟩	$\longrightarrow$	⟨DeclarationSequence⟩ ["BEGIN" ⟨StatementSequence⟩] "END"

Aufruf von Prozeduren

AddressBook2.om

```
IF ReadName(name) THEN
   IF SearchByName(addressBook, name, index) THEN
      PrintEntry(addressBook[index]);
   ELSE
      Write.Line("Sorry, not found!");
   END;
END;
```

- Ein Prozedur-Aufruf besteht aus dem Namen einer Prozedur und den **aktuellen Parametern**.

- Der Aufruf beginnt zunächst mit der Parameterübergabe (bzw. deren Zuordnung). Danach übernimmt der Programmtext der Prozedur die Kontrolle. Sobald die Prozedur beendet ist, wird die Ausführung beim Aufrufer fortgesetzt. Wird (wie hier bei **SearchByName** ein Wert zurückgegeben (vom Typ **BOOLEAN**) so wird dieser Rückgabewert genau an der Stelle eingesetzt, wo der Aufruf steht.

Arten formaler Parameter

AddressBook2.om

```
PROCEDURE SearchByName(addressBook: AddressBook;
                       name: Name;
                       VAR index: INTEGER) : BOOLEAN;
```

- Oberon unterstützt zwei Arten von Parametern: Werte-Parameter (*call by value*) und Referenz-Parameter (*call by reference*).

- Referenz-Parameter werden in der formalen Parameterliste mit dem Schlüsselwort **VAR** markiert (und daher auch als **VAR**-Parameter bezeichnet). Alle anderen Parameter sind Werte-Parameter.

- Werte-Parameter sind Variablen, die der Prozedur alleine gehören. Sie werden zu Beginn des Prozeduraufrufs neu erzeugt und verschwinden am Ende des Prozeduraufrufs.

- Werte-Parameter werden mit den Werten der entsprechenden aktuellen Parameter initialisiert. D.h. die Werte werden **kopiert** und danach gibt es keinen Zusammenhang mehr zwischen den aktuellen und formellen Parametern.

- Referenz-Parameter sind Alias-Namen für die entsprechenden aktuellen Parameter. Wenn innerhalb der Prozedur der Referenz-Parameter verändert oder ausgewertet wird bezieht sich das immer auf die Variable aus der aktuellen Parameterliste.

- Bei **SearchByName** sind *addressBook* und *name* Werte-Parameter, während es sich bei *index* um einen Referenz-Parameter handelt.

Werte-Parameter

ParamDemo1.om

```
MODULE ParamDemo1;
   IMPORT Write;
   VAR i: INTEGER;

   PROCEDURE P(val: INTEGER);
   BEGIN
      Write.String("P: val = "); Write.Int(val, 1); Write.Ln;
      INC(val);
      Write.String("P: val = "); Write.Int(val, 1); Write.Ln;
      Write.String("P: i = "); Write.Int(i, 1); Write.Ln;
   END P;

BEGIN
   i := 1; P(i);
   Write.String("Main: i = "); Write.Int(i, 1); Write.Ln;
END ParamDemo1.
```

- Beim Aufruf von **P** wird der Wert des aktuellen Parameters (hier: 1) zum formellen Parameter **val** kopiert.
- Wenn **val** später innerhalb der Prozedur verändert wird, betrifft dies nicht die Variable **i**.

```
dublin$ ParamDemo1
P: val = 1
P: val = 2
P: i = 1
Main: i = 1
dublin$
```

Referenz-Parameter

ParamDemo2.om

```
MODULE ParamDemo2;
   IMPORT Write;
   VAR i: INTEGER;

   PROCEDURE P(VAR val: INTEGER);
   BEGIN
      Write.String("P: val = "); Write.Int(val, 1); Write.Ln;
      INC(val);
      Write.String("P: val = "); Write.Int(val, 1); Write.Ln;
      Write.String("P: i = "); Write.Int(i, 1); Write.Ln;
   END P;

BEGIN
   i := 1; P(i);
   Write.String("Main: i = "); Write.Int(i, 1); Write.Ln;
END ParamDemo2.
```

- Hier wird beim Aufruf von **P** kein Wert kopiert, sondern **val** wird während des Aufrufs zu einem neuen Namen der Variablen **i**.

```
dublin$ ParamDemo2
P: val = 1
P: val = 2
P: i = 2
Main: i = 2
dublin$
```

Referenz-Parameter

ParamDemo3.om

```
MODULE ParamDemo3;
   IMPORT Write;
   VAR i: INTEGER;

   PROCEDURE P(VAR val: INTEGER);
   BEGIN
      Write.String("P: val = "); Write.Int(val, 1); Write.Ln;
      INC(i);
      Write.String("P: val = "); Write.Int(val, 1); Write.Ln;
      Write.String("P: i = "); Write.Int(i, 1); Write.Ln;
   END P;

BEGIN
   i := 1; P(i);
   Write.String("Main: i = "); Write.Int(i, 1); Write.Ln;
END ParamDemo3.
```

- **val** und **i** sind in diesem Beispiel Synonyme. Also macht es keinen Unterschied, ob hier `INC(val)` oder `INC(i)` steht.

```
dublin$ ParamDemo3
P: val = 1
P: val = 2
P: i = 2
Main: i = 2
dublin$
```

Werte-Parameter

ParamDemo4.om

```
MODULE ParamDemo4;
   IMPORT Write;

   PROCEDURE P(val: INTEGER);
   BEGIN
      Write.String("P: val = "); Write.Int(val, 1); Write.Ln;
      INC(val);
      Write.String("P: val = "); Write.Int(val, 1); Write.Ln;
   END P;

BEGIN
   P(3 - 2);
END ParamDemo4.
```

- Bei Werte-Parametern können beim entsprechenden aktuellen Parameter beliebige Ausdrücke stehen.
- Voraussetzung ist nur, daß der Typ des Ausdrucks an den Typ des formellen Parameters zugewiesen werden kann.

Referenz-Parameter

ParamDemo5.om

```
MODULE ParamDemo5;
   IMPORT Write;

   PROCEDURE P(VAR val: INTEGER);
   BEGIN
      Write.String("P: val = "); Write.Int(val, 1); Write.Ln;
      INC(val);
      Write.String("P: val = "); Write.Int(val, 1); Write.Ln;
   END P;

BEGIN
   P(3 - 2);
END ParamDemo5.
```

- Bei Referenz-Parametern muß eine veränderbare Größe übergeben werden (*designator*).

```
dublin$ make
oc   -c -u ParamDemo5.om
  12       P(3 - 2);
                 ^
     designator expected for VAR-parameter
make: *** [ParamDemo5.o] Error 1
dublin$
```

Referenz-Parameter

ParamDemo6.om

```
MODULE ParamDemo6;
   IMPORT Write;

   VAR i: LONGINT;

   PROCEDURE P(VAR val: INTEGER);
   BEGIN
   END P;

BEGIN
   i := 1; P(i);
END ParamDemo6.
```

- Der Typ des aktuellen Parameters muß identisch sein zum Typ des aktuellen Parameters.

```
dublin$ make ParamDemo6
oc   -c -u ParamDemo6.od ParamDemo6.om
  11       i := 1; P(i);
                     ^
     type identity to "INTEGER" required
make: *** [ParamDemo6.sy] Error 1
dublin$
```

Welche Parameter für was?

- Der Parameterübergabe-Mechanismus dient der Kommunikation zwischen dem Aufrufer und der Prozedur.

- Werte-Parameter dienen der unidirektionalen Kommunikation vom Aufrufer zur Prozedur.
  Beispiel: **Write.Int**

- Referenz-Parameter können verwendet werden, um von der Prozedur berechnete oder bestimmte Werte an Variablen des Aufrufers zuzuweisen. In diesem Falle spielt der Wert der Variablen vor dem Aufruf keine Rolle.
  Beispiel: **Read.Int**

- Referenz-Parameter können aber auch für eine bidirektionale Kommunikation verwendet werden. Dann betrachtet die Prozedur den Wert der auf diese Weise übergebenen Variable und hat dann die Möglichkeit, den Wert der Variable zu verändern.

Funktions-Prozeduren

AddressBook2.om

```
PROCEDURE SearchByName(addressBook: AddressBook;
                       name: Name;
                       VAR index: INTEGER) : BOOLEAN;
```

- Neben den “normalen” Prozeduren gibt es auch die sogenannten Funktionsprozeduren, die einen Rückgabewert so liefern, daß er direkt in einen Ausdruck eingebaut werden kann.

- Als Rückgabetyp sind keine Record- oder Array-Typen zugelassen. Wenn dafür Bedarf besteht, sind stattdessen entsprechende Referenz-Parameter zu verwenden.

- Wenn eine Funktions-Prozedur aufgerufen wird, muß auch der Rückgabewert in einen Ausdruck eingebaut werden. Dies ist auch dann notwendig, wenn dieser aus der Sicht des Aufrufers völlig uninteressant ist.

- Sehr beliebt ist **BOOLEAN** als Typ für einen Rückgabewert, um Erfolg oder Mißerfolg des Prozeduraufrufs zu signalisieren. Im Beispiel von **SearchByName** liefert die Prozedur **TRUE** zurück, falls der Name gefunden wurde und ansonsten **FALSE**.

Lokale Variablen

AddressBook2.om

```
PROCEDURE InitAddressBook(VAR addressBook: AddressBook);
   (* initialize address book:
      mark all entries as unused
   *)
   VAR
      index: INTEGER;
BEGIN
   index := 0;
   WHILE index < maxentries DO
      addressBook[index].used := FALSE;
      INC(index);
   END;
END InitAddressBook;
```

- Bei jeder Prozedur sind beliebige Deklarationen zulässig, die dann nur innerhalb der Prozedur sichtbar sind.

- Dazu gehören auch insbesondere Variablen, die als **lokale Variablen** bezeichnet werden, weil sie nur innerhalb der Prozedur lokal sichtbar sind. Variablen eines Moduls werden **globale Variablen** genannt, da sie für alle Prozeduren des Moduls sichtbar sind.

- Lokale Variablen werden erzeugt, sobald eine Prozedur aufgerufen wird und sie verschwinden automatisch wieder, sobald die Prozedur beendet ist. In dieser Hinsicht sind sie ähnlich wie die Werte-Parameter, nur daß sie eben nicht von Anfang an durch die Parameterübergabe initialisiert sind.

Globale Variablen

- Globale Variablen sind soweit wie möglich zu vermeiden.
- Je weniger globale Variablen verwendet werden, umso weniger stellt sich die Frage, wer auf diese auf welche Weise zugreift.
- Globale Variablen sind nur sinnvoll in folgenden Fällen:
  - Minimale Programme, die auf eine Bildschirmseite passen.
  - Für Tabellen, die zu Beginn einmal ausgerechnet und später nie verändert werden.
  - Variablen, die globale Objekte referenzieren, die es wirklich nur einmal gibt. Beispiel: **Streams.stdin**

Einlese-Prozeduren

AddressBook2.om

```
PROCEDURE ReadName(VAR name: Name) : BOOLEAN;
   (* read a name and return TRUE if successful;
      note that we return FALSE
      in case of empty input lines
   *)
BEGIN
   Write.String("Name: "); Read.Line(name);
   RETURN (Streams.stdin.count > 0) & (name # "")
END ReadName;
```

- Einlese-Operationen lassen sich gut in Prozeduren einbetten.
- Wenn diese Prozeduren ein **BOOLEAN**-Resultat je nach Erfolg liefern, dann lassen sich die weniger eleganten **LOOP**-Einleseschleifen in elegante **WHILE**-Schleifen konvertieren.

AddressBook2.om

```
PROCEDURE ReadCity(VAR city: Name) : BOOLEAN;
   (* read a name and return TRUE if successful;
      note that we permit an empty input line
   *)
BEGIN
   Write.String("City: "); Read.Line(city);
   RETURN Streams.stdin.count > 0
END ReadCity;
```

Kombination von Einlese-Prozeduren

AddressBook2.om

```
PROCEDURE ReadEntry(VAR entry: Entry) : BOOLEAN;
   (* read a new entry; return TRUE if successful *)
BEGIN
   entry.used := TRUE;
   RETURN ReadName(entry.name) & ReadCity(entry.city)
END ReadEntry;
```

- Wenn konsequent die Einlese-Operationen als **BOOLEAN**-wertige Funktions-Prozeduren zur Verfügung stehen, dann können diese gut kombiniert werden.

- Wegen der Kurzschluß-Bewertung wird die &-Kette sofort abgebrochen, sobald eine der Funktions-Prozeduren **FALSE** liefert. Somit ist bei Eingabe-Ende auch wirklich gleich Schluß.

Übersicht durch kleine Zugriffs-Operationen

AddressBook2.om

```
PROCEDURE FindFreeSlot(addressBook: AddressBook;
                       VAR index: INTEGER) : BOOLEAN;
   (* look for an unused slot within the address book;
      set index and return TRUE, if successful;
      return FALSE if there are no free slots left
   *)
BEGIN
   index := 0;
   WHILE (index < maxentries) &
         addressBook[index].used DO
      INC(index);
   END;
   RETURN index < maxentries
END FindFreeSlot;
```

- Einzelne Operationen wie beispielsweise das Finden eines freien Feldes im Array lassen sich elegant in einzelne Prozeduren packen.

Ausgabe-Prozeduren

AddressBook2.om

```
PROCEDURE PrintEntry(entry: Entry);
   (* print an entry that is in use *)
BEGIN
   ASSERT(entry.used);
   Write.String(entry.name);
   IF entry.city # "" THEN
      Write.String(", ");
      Write.Line(entry.city);
   END;
END PrintEntry;

PROCEDURE PrintEntries(addressBook: AddressBook);
   (* print all used entries of the given address book *)
   VAR
      index: INTEGER;
BEGIN
   index := 0;
   WHILE index < maxentries DO
      IF addressBook[index].used THEN
         PrintEntry(addressBook[index]);
      END;
      INC(index);
   END;
END PrintEntries;
```

Kontroll-Prozedur

AddressBook2.om

```
PROCEDURE ProcessCommands;
   (* maintain an address book
      by processing commands for it
   *)
   VAR
      addressBook: AddressBook;
      index: INTEGER; (* of addressBook *)
      command: ARRAY 16 OF CHAR;
         (* command read from input *)
      entry: Entry; (* a new entry; used by ‘‘new’’ *)
      name: Name;
         (* used as arg for ‘‘search’’ or ‘‘delete’’ *)
BEGIN
   InitAddressBook(addressBook);
   LOOP
      Write.String("address book> ");
      Read.Line(command);
      IF Streams.stdin.count = 0 THEN EXIT END;
      (* ... process command ... *)
   END;
END ProcessCommands;
```

- Durch die Abwesenheit globaler Variablen findet kein unbeabsichtiger Zugriff auf die Variablen statt, die für die Verwaltung notwendig sind.
- Stattdessen werden die Zugriffe durch die Prozeduraufrufe reglementiert.

Kontroll-Prozedur

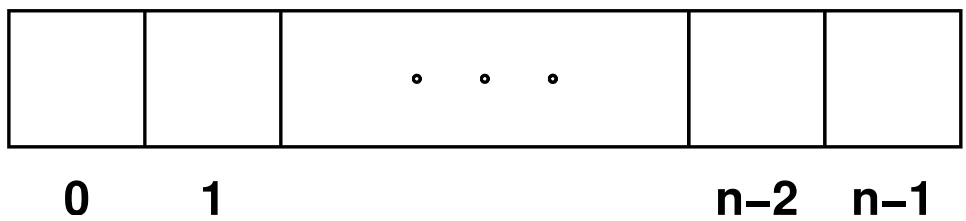
AddressBook2.om

```
IF command = "quit" THEN EXIT END;
IF command = "new" THEN
   IF FindFreeSlot(addressBook, index) THEN
      IF ReadEntry(entry) THEN
         addressBook[index] := entry;
      END;
   ELSE
      Write.Line("Sorry, your address book is already full!");
   END;
ELSIF command = "list" THEN
   PrintEntries(addressBook);
ELSIF command = "search" THEN
   IF ReadName(name) THEN
      IF SearchByName(addressBook, name, index) THEN
         PrintEntry(addressBook[index]);
      ELSE
         Write.Line("Sorry, not found!");
      END;
   END;
ELSIF command = "delete" THEN
   IF ReadName(name) THEN
      IF SearchByName(addressBook, name, index) THEN
         addressBook[index].used := FALSE;
      ELSE
         Write.Line("Sorry, not found!");
      END;
   END;
ELSIF command = "help" THEN
   Write.String("Supported commands: ");
   Write.Line("delete, help, list, new, quit, search");
ELSE
   Write.Line("Unknown command. Please try ‘‘help’’!");
END;
```

Ein- und Ausgabe-Verbindungen

- Prozesse können viele Ein- und Ausgabe-Verbindungen unterhalten.
- Einige davon stehen gleich zu Beginn zur Verfügung wie beispielsweise **Streams.stdin**, **Streams.stdout** und **Streams.-stderr**.
- Zusätzlich können weitere Verbindungen eröffnet und wieder geschlossen werden.
- Ein- und Ausgabe-Verbindungen sind abstrakt, d.h. sie können zu sehr unterschiedliche Arten von Medien verbunden sein, z.B. zu dem xterm, in dem der Prozess gestartet wurde, zu einer Datei, zu einem anderen Prozess über eine Pipeline oder gar zu einem Prozess auf einem anderen Rechner über eine Netzwerkverbindung.
- Verbindungen zu diversen Geräten wie Drucker oder Bandlaufgeräte sind ebenfalls möglich.
- Ferner kann es in Oberon auch interne Ein- und Ausgabe-Verbindungen geben.

Einfaches Modell einer Datei



- Eine Datei entspricht im idealen Falle einem Array aus Bytes.

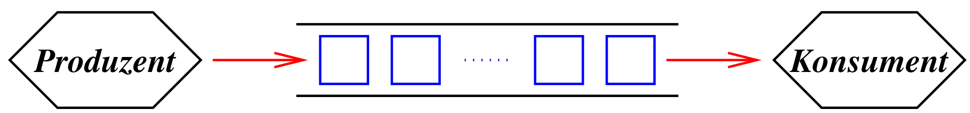
- Wenn eine Datei eine Länge von n Bytes hat, sind diese über die Positionen 0 bis $n-1$ abrufbar.

- Eine Dateiverbindung hat eine aktuelle Position p.

- Wenn ein Byte über eine Verbindung gelesen oder geschrieben wird, dann erfolgt der Zugriff auf der aktuellen Position p, die anschließend, falls die Operation erfolgreich war, um eins erhöht wird.

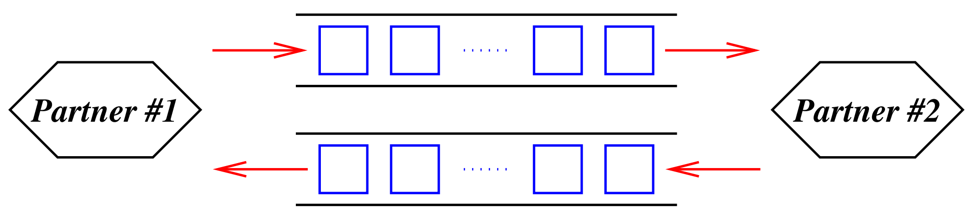
- Lese-Operationen bei einer Position von n sind nicht erfolgreich.

Unidirektionaler Kommunikationskanal



- Ein unidirektionaler Kommunikationskanal verbindet einen Produzenten, der in den Kanal schreibt, mit einem Konsumenten, der aus dem Kanal liest.
- Beispiel: Pipeline unter UNIX
- Die Speicherkapazität des Kanals ist beschränkt, d.h. der Produzent kann nicht beliebig viel in den Kanal schreiben, ohne daß jemals etwas vom Konsumenten gelesen wird.
- Bei Pipelines unter UNIX liegt die Speicherkapazität typischerweise bei vier Kilobytes.
- Will der Konsument lesen, ohne daß etwas im Kanal vorliegt, wird er schlafen gelegt, bis der Produzent neue Eingaben generiert.
- Umgekehrt wird der Produzent schlafen gelegt, wenn er den bereits vollständig gefüllten Kanal weiter füllen möchte.
- Wenn der Produzent die Verbindung schließt, kann der Konsument noch den bestehenden Inhalt des Kanals auslesen und beobachtet dann ein Ende der Eingabe.
- Wenn der Konsument die Verbindung schließt, erfährt dies der Produzent über Fehler beim Schreiben.

Bidirektionaler Kommunikationskanal



- Ein bidirektionaler Kommunikationskanal besteht aus zwei unidirektionalen Kanälen, die zu einer Verbindung gehören.
- Beispiele: Verbindung zu einem virtuellen Terminal unter UNIX, Verbindung zu einem Netzwerkdienst.
- Typisch für bidirektionale Kanäle ist ein Dialog, bei dem die eine Seite Fragen oder Anforderungen stellt und die andere sie beantwortet.
- Der Dialog zwischen zwei Prozessen wird über ein Protokoll geregelt, das genau festlegt, wann welche Partei was in welcher Form über den Kanal schicken darf.

Das Modul Streams

- In der Ulmer Oberon-Bibliothek offeriert das Modul **Streams** eine Schnittstelle zu allen Arten von Ein- und Ausgabe-Verbindungen.
- Eröffnet wird ein Objekt vom Typ **Streams.Stream** durch eine zugehörige Implementierung. Beispiele: **UnixFiles** für Dateien unter UNIX, **UnixPipes** für Pipelines unter UNIX oder **IPv4TCPSockets** für Netzwerkverbindungen über TCP/IPv4.
- In Abhängigkeit des Streams sind verschiedene Operationen zulässig wie Lesen, Schreiben, Abfrage der aktuellen Position und Setzen der Position.
- Bei Verbindungen zu Dateien sind typischerweise alle vier Operationen möglich. Hingegen unterstützen Kommunikationskanäle keine Positionen.

Die Pufferung des Moduls Streams

- Auf Wunsch unterstützt das Modul **Streams** eine Pufferung, die sehr deutliche Effizienzgewinne bringen kann. Folgende Pufferungs-Modi werden unterstützt:

Streams.nobuf	keine Pufferung
Streams.onebuf	genau ein Puffer (8 Kilobyte)
Streams.linebuf	nur eine Zeile wird gepuffert
Streams.bufpool	viele Puffer

- Wenn **Streams.stdin** und/oder **Streams.stdout** mit einem Terminal unter UNIX verbunden sind, werden sie zeilenweise gepuffert. Das bedeutet, dass Ausgaben erst nach der Ausgabe des Zeilentrenners (z.B. durch **Write.Ln**) zu sehen sind. Wenn allerdings beide mit einem Terminal verbunden sind, führt auch eine Einlese-Operation zu einer Leerung des Ausgabe-Puffers.

- Bei Dateiverbindungen ist **Streams.onebuf** sinnvoll. Bei vielfachen Zugriff unter verschiedenen Positionen (typisch für Datenbanken) kann auch **Streams.bufpool** geeignet sein.

- Mit der Operation **Streams.Flush** kann jeweils ein Ausgabe-Puffer geleert werden.

Eröffnen einer Datei

Oneliner.om

```
IF ~UnixFiles.Open(s, filename,
      UnixFiles.write + UnixFiles.create,
      Streams.onebuf, NIL) THEN
   Write.String("Couldn't open "); Write.String(filename);
   Write.Line(" for writing!");
   RETURN
END;
```

- **UnixFiles.Open** erhält fünf Parameter:

Typ	Bedeutung
Streams.Stream	Referenz-Parameter, über den die neu erzeugte Ein- und Ausgabe-Verbindung zurückgegeben wird.
ARRAY OF CHAR	Name der zu eröffnenden Datei.
UnixFiles.Mode	Legt fest, ob die Datei zum Lesen oder Schreiben (oder beides gleichzeitig) eröffnet wird. Ferner kann angegeben werden, ob die Datei in jedem Falle oder nur im Falle der Nicht-Existenz neu angelegt wird.
Streams.BufMode	Hier ist einer der vier Pufferungs-Modi auszuwählen. Dieser kann nachträglich nicht mehr verändert werden.
RelatedEvents.Object	Über dieses Objekt können Fehlerereignisse zurückgegeben werden. Wenn das nicht notwendig ist, kann hier auch einfach die vordefinierte Konstante **NIL** angegeben werden.

- Der Rückgabe-Wert ist vom Typ **BOOLEAN** und signalisiert den Erfolg der Operation.

Zulässige Modi für UnixFiles.Mode

Folgende Modi sind zulässig beim Eröffnen einer Datei:

UnixFiles.read	Datei nur zum Lesen eröffnen.
UnixFiles.write	Datei nur zum Schreiben eröffnen.
UnixFiles.rdwr	Datei zum Lesen und Schreiben eröffnen.

Wird nur einer dieser drei Modi angegeben, schlägt die Operation fehl, wenn die Datei noch nicht existiert. Um das zu ändern, kann einer der beiden folgenden Modi zu einem der oben genannten Modi *hinzuaddiert* werden, um dieses Verhalten zu ändern:

UnixFiles.create	Die Datei wird in jedem Falle neu angelegt. Falls die Datei vorher bereits existierte, geht der alte Inhalt vollständig verloren.
UnixFiles.condcreate	Die Datei wird nur dann angelegt, falls sie zuvor nicht existiert hat.

Lese- und Schreib-Operationen

Oneliner.om

```
PROCEDURE DoIt;
   VAR
      s: Streams.Stream;
      filename: ARRAY 80 OF CHAR;
      line: ARRAY 80 OF CHAR;
BEGIN
   Write.String("Output file: "); Read.Line(filename);
   IF Streams.stdin.count = 0 THEN RETURN END;
   IF ~UnixFiles.Open(s, filename,
         UnixFiles.write + UnixFiles.create,
         Streams.onebuf, NIL) THEN
      Write.String("Couldn't open ");
      Write.String(filename);
      Write.Line(" for writing!");
      RETURN
   END;
   Write.String("Your one-liner: "); Read.Line(line);
   IF Streams.stdin.count = 0 THEN RETURN END;
   Write.LineS(s, line);
   Streams.Release(s); (* close the stream *)
END DoIt;
```

- Alle bekannten Operationen aus den Modulen **Read** und **Write** lassen sich auch für beliebige Objekte vom Typ **Streams.-Stream** verwenden.
- Dazu ist jeweils an den Namen der Operation ein “S” anzuhängen und als erster Parameter der gewünschte Stream anzugeben, auf dem die Operation auszuführen ist.

Status einer Ein- und Ausgabe-Verbindung

Bei jedem Objekt vom Typ **Streams.Stream** gibt es folgende Felder, mit denen der Erfolg der letzten Operation überprüft werden kann:

count	Liefert die Zahl der umgesetzten Ein- oder Ausgabe-Operationen. Wie diese Zahl zu interpretieren ist, hängt von der Operation selbst ab. Generell bedeutet eine 0 ein Mißerfolg und eine positive Nummer zumindest einen Teilerfolg.
error	Wird auf **TRUE** gesetzt, wenn die letzte Operation nicht erfolgreich war. Dies geschieht jedoch nicht bei einem normalen Eingabe-Ende.
errors	Die Gesamtzahl der aufgelaufenen Fehler.
eof	Wird bei einem erkannten Eingabe-Ende auf **TRUE** gesetzt.
lasterror	Gibt die Fehlernummer des letzten Fehlers an.

Schließen eines Streams

- Ein- und Ausgabe-Verbindungen werden vollautomatisch bei einem *natürlichen* Programm-Ende geschlossen.
- Beim Schließen werden auch sämtliche Ausgabe-Puffer geleert.
- Kommt es zu einem Laufzeitfehler, unterbleibt das automatische Leeren der Ausgabe-Puffer.
- Es gibt zwei Möglichkeiten, selbst eine Verbindung zu schließen:

Streams.Close	liefert ein **BOOLEAN**-Resultat über den Erfolg der Operation zurück. Die Operation schlägt beispielsweise fehl, falls der Ausgabe-Puffer nicht erfolgreich geleert werden konnte. Die Verbindung ist dennoch in jedem Falle anschließend geschlossen.
Streams.Release	ist äquivalent zu **Streams.Close**, liefert aber kein **BOOLEAN**-Resultat zurück.

Positionierung in einer Datei

- Positionen in einer Datei sind vom Typ **Streams.Count**. Das sind nicht-negative ganze Zahlen.

- Mit **Streams.GetPos** kann die aktuelle Position ermittelt werden.

- Mit **Streams.SetPos** kann auf eine beliebige gültige Position gewechselt werden.

- Alternativ können auch **Streams.Tell** und **Streams.Seek** verwendet werden, die jeweils **BOOLEAN**-Resultate liefern. Zusätzlich bietet **Streams.Seek** auch relative Positionierungen zur aktuellen Position und zum Ende der Datei an.

Zufällige Auswahl eines Spruches

```
dublin$ wc -l cookies
     26 cookies
dublin$ head -6 cookies
% Programming wisdom stolen from
% Kernighan and Plauger's
% ``The Elements of Programming Style''
Avoid unnecessary branches.
Choose a data representation that makes the program simple.
Choose variable names that won't be confused.
dublin$ FortuneCookie
Choose variable names that won't be confused.
dublin$ FortuneCookie
Write and test a big program in small pieces.
dublin$ FortuneCookie
Don't comment bad code -- rewrite it.
dublin$
```

- Gegeben sei eine Datei mit Sprüchen. Jeder Spruch benötigt genau eine Zeile. Hinzu kommen Kommentarzeilen, die mit einem Prozentzeichen beginnen.
- Eine der Sprüche ist gleichmäßig verteilt auszuwählen und auszugeben.
- Ansatz: Einmal die Datei vollständig durchlesen und dabei die Anfangspositionen aller Sprüche merken. Dann zufällig einen wählen, zu diesem positionieren, ihn einlesen und ausgeben.

Datenstruktur von FortuneCookie

FortuneCookie.om

```
CONST
   maxcookies = 32;
TYPE
   CookiePositions = ARRAY maxcookies OF Streams.Count;
   CookieFile =
      RECORD
         s: Streams.Stream;
         nofcookies: INTEGER;
         pos: CookiePositions;
      END;
```

- Die gesamte Datenstruktur, die für die Auswahl benötigt wird, ist hier in einem Record zusammengefaßt.
- Der Stream **s** repräsentiert die Verbindung zur Datei mit den Sprüchen.
- **nofcookies** notiert die Zahl der gefundenen Sprüche.
- In dem Array **pos** werden die Positionen der Zeilenanfänge der Sprüche notiert.

Durchgang durch die Datei

FortuneCookie.om

```
PROCEDURE OpenCookies(VAR file: CookieFile) : BOOLEAN;

   PROCEDURE ReadCookie(VAR pos: Streams.Count) : BOOLEAN;
      VAR
         line: ARRAY 4 OF CHAR;
   BEGIN
      LOOP
         Streams.GetPos(file.s, pos);
         Read.LineS(file.s, line);
         (* end of input file? *)
         IF file.s.count = 0 THEN RETURN FALSE END;
         (* skip commented or empty lines *)
         IF (line[0] # "%") & (line[0] # 0X) THEN
            RETURN TRUE
         END;
      END;
   END ReadCookie;

BEGIN (* OpenCookies *)
   IF ~UnixFiles.Open(file.s, "cookies", UnixFiles.read,
         Streams.onebuf, NIL) THEN
      RETURN FALSE
   END;
   file.nofcookies := 0;
   WHILE (file.nofcookies < maxcookies) &
         ReadCookie(file.pos[file.nofcookies]) DO
      INC(file.nofcookies);
   END;
   RETURN file.nofcookies > 0
END OpenCookies;
```

Lokale Prozeduren

FortuneCookie.om

```
PROCEDURE OpenCookies(VAR file: CookieFile) : BOOLEAN;

   PROCEDURE ReadCookie(VAR pos: Streams.Count) : BOOLEAN;
      VAR
         line: ARRAY 4 OF CHAR;
   BEGIN
      LOOP
         Streams.GetPos(file.s, pos);
         Read.LineS(file.s, line);
         (* end of input file? *)
         IF file.s.count = 0 THEN RETURN FALSE END;
         (* skip commented or empty lines *)
         IF (line[0] # "%") & (line[0] # 0X) THEN
            RETURN TRUE
         END;
      END;
   END ReadCookie;

BEGIN (* OpenCookies *)
```

- Neben lokalen Variablen kann es auch lokale Prozeduren geben.
- Lokale Prozeduren sind nur innerhalb der sie umgebenden Prozedur sichtbar.
- Lokale Prozeduren dürfen auf die Parameter und Variablen der sie umgebenden Prozedur zugreifen. (Hier konkret auf **file**).

Positionierung in einer Datei

FortuneCookie.om

```
PROCEDURE PrintCookie(file: CookieFile; index: INTEGER);
   VAR
      cookie: ARRAY 512 OF CHAR;
BEGIN
   Streams.SetPos(file.s, file.pos[index]);
   Read.LineS(file.s, cookie);
   Write.Line(cookie);
END PrintCookie;
```

- **PrintCookie** positioniert die Dateiverbindung auf den **index**-ten Spruch (von 0 an zählend) und gibt diesen aus.

Hauptteil der Spruchauswahl

FortuneCookie.om

```
PROCEDURE DoIt;
   VAR
      file: CookieFile;
      selected: INTEGER; (* index of selected cookie *)
BEGIN
   IF ~OpenCookies(file) THEN
      Write.String("I am sorry as I am unable ");
      Write.Line("to locate any cookies!");
      RETURN
   END;
   selected := SHORT(RandomGenerators.Val(0,
      file.nofcookies-1));
   PrintCookie(file, selected);
END DoIt;
```

- Das Hauptprogramm wurde hier in die Prozedur **DoIt** verlagert, damit ein Verzicht auf globale Variablen möglich ist.

Argumente aus der Kommandozeile

EchoArgs.om

```
MODULE EchoArgs;

   IMPORT Args := UnixArguments, Write;

   PROCEDURE EchoArguments;
      VAR
         arg: ARRAY 512 OF CHAR;
   BEGIN
      WHILE Args.GetArg(arg) DO
         Write.Line(arg);
      END;
   END EchoArguments;

BEGIN
   EchoArguments;
END EchoArgs.
```

- In einer Shell unter UNIX können neben dem Programmnamen noch weitere Argumente an ein Programm übergeben werden.

- In Abhängigkeit von der Programmiersprache können dann die Argumente innerhalb eines Programms verarbeitet werden.

- Das Modul **SysArgs** dient im Ulmer Oberon-System als systemnahe Schnittstelle. Sehr viel komfortabler ist hier **UnixArguments**, weil damit auch die üblichen Konventionen unter UNIX unterstützt werden. **Args** dient als allgemeine Schnittstelle, wenn Argumente auch von anderen Quellen zu berücksichtigen sind.

Aneinanderhängen von Dateien

```
dublin$ cat file1
Dies ist der Inhalt von file1.
dublin$ cat file2
Der Inhalt von file2
geht ueber zwei Zeilen.
dublin$ cat file3
Und hier ist der Inhalt von file3.
dublin$ cat file1 file2 file3
Dies ist der Inhalt von file1.
Der Inhalt von file2
geht ueber zwei Zeilen.
Und hier ist der Inhalt von file3.
dublin$
```

- Aufgabe: Auf der Kommandozeilen können beliebig viele Dateinamen angegeben werden. Alle sind hintereinander zu öffnen und deren Inhalt ist auf die Standardausgabe zu kopieren.
- Wird auf der Kommandozeile überhaupt keine Datei angegeben, wird von der Standard-Eingabe zur Standard-Ausgabe kopiert.
- Vorbild ist das Kommando **cat**, das für *concatenate* steht.

Rahmen des Kopierprogramms

Concatenate.om

```
(*
   output all input files in the given order to stdout;
   take stdin if no input files are given
*)
MODULE Concatenate;

   IMPORT Args := UnixArguments, Process, Streams,
      UnixFiles, Write;

   PROCEDURE Copy(in, out: Streams.Stream) : BOOLEAN;
      (* copy all bytes from in to out;
         return FALSE in case of errors
      *)
      (* ... *)
   END Copy;

   PROCEDURE ProcessFiles;
      (* ... *)
   END ProcessFiles;

BEGIN
   ProcessFiles;
END Concatenate.
```

- Das Programm wird aufgeteilt in die Prozedur **Copy**, die von einer Eingabe-Verbindung zu einer Ausgabe-Verbindung kopiert und die Prozedur **ProcessFiles**, die durch sämtliche Dateinamen auf der Kommandozeile geht, die angegebenen Dateien eröffnet und **Copy** aufruft.

Kopierprozedur

Concatenate.om

```
PROCEDURE Copy(in, out: Streams.Stream) : BOOLEAN;
   (* copy all bytes from in to out;
      return FALSE in case of errors
   *)
   VAR
      ch: CHAR;
BEGIN
   WHILE Streams.ReadByte(in, ch) DO
      IF ~Streams.WriteByte(out, ch) THEN
         RETURN FALSE
      END;
   END;
   RETURN in.eof
END Copy;
```

- Mit **Streams.ReadByte** und **Streams.WriteByte** kann byteweise kopiert werden.

- Wichtig ist, daß bei Fehlern sofort mit einem **RETURN FALSE** abgebrochen wird.

- Wenn das Einlesen an einem Fehler scheitert, endet die **WHILE**-Schleife und **in.error** ist **TRUE**, während **in.eof** noch **FALSE** ist.

- Klappt die Ausgabe nicht, wird die Prozedur mitten in der **WHILE**-Schleife mit einem **RETURN FALSE** verlassen.

Abarbeiten der Kommandozeile

Concatenate.om

```
PROCEDURE ProcessFiles;
   VAR
      pathname: ARRAY 512 OF CHAR;
      in: Streams.Stream;
BEGIN
   IF Args.GetArg(pathname) THEN
      REPEAT
         IF ~UnixFiles.Open(in, pathname,
               UnixFiles.read, Streams.onebuf, NIL) THEN
            Write.StringS(Streams.stderr, pathname);
            Write.StringS(Streams.stderr, ": cannot be ");
            Write.StringS(Streams.stderr, "opened for ");
            Write.LineS(Streams.stderr, "reading");
            Process.Exit(Process.indicateFailure);
         END;
         IF ~Copy(in, Streams.stdout) THEN
            Write.StringS(Streams.stderr, "write error ");
            Write.StringS(Streams.stderr, "while copying ");
            Write.LineS(Streams.stderr, pathname);
         END;
         Streams.Release(in);
      UNTIL ~Args.GetArg(pathname);
   ELSE
      IF ~Copy(Streams.stdin, Streams.stdout) THEN
         Write.StringS(Streams.stderr, "write error ");
         Write.StringS(Streams.stderr, "while copying ");
         Write.LineS(Streams.stderr, "standard input");
      END;
   END;
END ProcessFiles;
```

Fehlerbehandlung

Concatenate.om

```
IF ~UnixFiles.Open(in, pathname,
      UnixFiles.read, Streams.onebuf, NIL) THEN
   Write.StringS(Streams.stderr, pathname);
   Write.StringS(Streams.stderr, ": cannot be ");
   Write.StringS(Streams.stderr, "opened for ");
   Write.LineS(Streams.stderr, "reading");
   Process.Exit(Process.indicateFailure);
END;
```

- Fehler sollten nicht nach **Streams.stdout** geschrieben werden, sondern nach **Streams.stderr**, damit sich Fehlermeldungen nicht unbemerkt in die normale Ausgabe eines Programms mischen.

- Dies ist insbesondere relevant, wenn die Standard-Ausgabe in eine Datei umgelenkt wird.

- Wenn etwas schief geht, sollte das Programm sich so verabschieden, daß die Umgebung weiß, daß es nicht erfolgreich war. **Process.Exit** terminiert das Programm mit dem angegebenen Exit-Code. 0 bedeutet hier Erfolg und jedes andere Resultat Mißerfolg.

```
dublin$ Concatenate /unbekannte/datei >/tmp/out
/unbekannte/datei: cannot be opened for reading
dublin$
```

Geschwindigkeitsvergleich

```
thales$ mkfile 10m 10m
thales$ time cp 10m 10m.2

real    0m1.17s
user    0m0.01s
sys     0m0.16s
thales$ time Concatenate 10m >10m.2

real    0m8.48s
user    0m5.62s
sys     0m0.22s
thales$
```

- Trotz gepufferter Ein- und Ausgabe ist diese Lösung benötigt diese Lösung ein mehrfaches der Zeit im Vergleich zum **cp**-Kommando.

- Das liegt primär daran, daß byte-weise kopiert wird, d.h. für jedes einzelne Byte gibt es die Prozeduraufrufe **Streams.ReadByte** und **Streams.WriteByte**.

- Es wäre sehr viel effizienter, in größeren Einheiten zu arbeiten. Dann gibt es nur einen Bruchteil der Prozeduraufrufe.

Schnelleres Kopieren

Concatenate2.om

```
PROCEDURE Copy(in, out: Streams.Stream) : BOOLEAN;
   (* copy all bytes from in to out;
      return FALSE in case of errors
   *)
   VAR
      ch: CHAR;
BEGIN
   RETURN Streams.Copy(in, out, -1)
END Copy;
```

- Das **Streams**-Modul bietet hier die Prozedur **Copy** an, mit der eine bestimmte Anzahl von Bytes oder alle (bei Angabe von -1) von einer Verbindung zur anderen kopiert werden.
- Diese Prozedur liest und schreibt in größeren Quantitäten (8k).
- Das führt zu einer deutlichen Verbesserung:

```
thales$ time Concatenate 10m >10m.2

real    0m8.48s
user    0m5.62s
sys     0m0.22s
thales$ time Concatenate2 10m >10m.2

real    0m1.72s
user    0m1.32s
sys     0m0.23s
thales$
```

Schnelleres Kopieren

Concatenate3.om

```
IF ~UnixMappedFiles.Open(in, pathname,
      UnixMappedFiles.read, NIL) THEN
   Write.StringS(Streams.stderr, pathname);
   Write.StringS(Streams.stderr, ": cannot be ");
   Write.StringS(Streams.stderr, "opened for ");
   Write.LineS(Streams.stderr, "reading");
   Process.Exit(Process.indicateFailure);
END;
```

- Das **cp**-Kommando verwendet aber noch weitere Tricks, um so überragend schnell zu werden. Einer der Tricks vermeidet das Einlesen, indem die Eingabe-Dateien in den Adreßraum des kopierenden Programms gelegt werden.
- In Oberon kann dieser Trick verwendet werden, wenn an Stelle von **UnixFiles** das Modul **UnixMappedFiles** verwendet wird. Das funktioniert aber nur für reguläre Dateien.

```
thales$ time Concatenate2 10m >10m.2

real    0m1.72s
user    0m1.32s
sys     0m0.23s
thales$ time Concatenate3 10m >10m.2

real    0m1.53s
user    0m1.09s
sys     0m0.30s
thales$
```

Verarbeiten von Optionen

Concatenate4.om

```
(* set defaults *)
numbered := FALSE;
silent := FALSE;
(* set usage line *)
Args.Init("[-n] [-s] {file}");
(* process options *)
WHILE Args.GetFlag(option) DO
   CASE option OF
   | "n":   numbered := TRUE;
   | "s":   silent := TRUE;
   ELSE
      Args.Usage;
   END;
END;
```

- Das originale **cat**-Kommando unterstützt einige Optionen, wovon hier zwei beispielhaft implementiert werden:

  -n Gib vor jeder Zeile die Zeilennummer aus.
  -s Ignoriere nicht zu öffnende Dateien.

- Mit **Args.Init** wird die Kommandozeilen-Syntax spezifiziert, die ggf. später von **Args.Usage** ausgegeben wird.

- **Args.GetFlag** holt die nächste Option von der Kommandozeile. Diese Prozedur liefert **FALSE**, sobald alle Optionen abgearbeitet sind. Dann bleiben nur noch die Dateiargumente (ohne führenden Bindestrich) übrig.

Optionen mit Parametern

- Aufgabe: Zu implementieren ist ein Werkzeug nach dem Vorbild von **cut**, das einzelne Felder aus der Eingabe selektiert.
- Dieses Kommando unterstützt die Konvention der kleinen Datenbanken im Textformat unter UNIX:
  - Ein Datensatz endet mit dem Zeilentrenner.
  - Ein Datensatz besteht aus mehreren Feldern, die durch Feldtrenner getrennt werden.
- Eine ähnliche Konvention ist in der Windows-Welt auch unter dem Begriff CSV (*comma separated values*) bekannt.
- Zu unterstützende Optionen:

-**d** *delim*	Angabe des Feldtrenners, der aus genau einem Zeichen besteht. Voreinstellung: Tabulartor.
-**f** *fieldno*	Angabe eines zu selektierenden Felds. Felder werden ab 1 numeriert. Diese Option kann mehrfach verwendet werden. Die angegebenen Feldnummern werden dann zu einer Menge zusammengefaßt. Voreinstellung: Leere Menge.

Optionen mit Parametern

CutFields.om

```
fieldsep: CHAR; (* field separator *)
delim: ARRAY 4 OF CHAR; (* used to read fieldsep *)
selected: SET; (* selected set of fields *)
fieldnum: INTEGER; (* used to read a field number *)
arg: Streams.Stream; (* command line argument as stream *)
option: CHAR; (* current command line option *)
in: Streams.Stream; (* input stream *)
pathname: ARRAY 512 OF CHAR; (* name of an input file *)
```

- Der Parameter einer Option kann mit **Args.FetchString** oder **Args.Fetch** geholt werden.

CutFields.om

```
(* set defaults *)
fieldsep := ASCII.tab; selected := {};
(* process options *)
Args.Init("[-d delim] {-f fieldno} {file}");
WHILE Args.GetFlag(option) DO
   CASE option OF
   | "d":   Args.FetchString(delim); fieldsep := delim[0];
   | "f":   Args.Fetch(arg); Read.IntS(arg, fieldnum);
            IF (arg.count > 0) & (fieldnum >= 1) &
                  (fieldnum <= MAX(SET) + 1) THEN
               INCL(selected, fieldnum-1);
            ELSE
               Args.Usage;
            END;
   ELSE
      Args.Usage;
   END;
END;
```

Optionen mit Parametern

CutFields.om

```
CASE option OF
| "d":   Args.FetchString(delim); fieldsep := delim[0];
| "f":   Args.Fetch(arg); Read.IntS(arg, fieldnum);
         IF (arg.count > 0) & (fieldnum >= 1) &
               (fieldnum <= MAX(SET) + 1) THEN
            INCL(selected, fieldnum-1);
         ELSE
            Args.Usage;
         END;
ELSE
   Args.Usage;
END;
```

- **Args.Fetch** eröffnet den Parameter als Stream, von dem anschließend (z.B. mit **Read.IntS**) gelesen werden kann.
- Ein mit **Args.Fetch** geöffneter Stream muß nicht explizit geschlossen werden, da das nächste **Args.Fetch** den vorher genutzten Stream automatisch schließt.
- **Args.FetchString** kopiert den Parameter in ein **CHAR**-Array.

Einlesen von Feldern

- Felder können unter Berücksichtigung von Feldtrennern und Zeilenterminatoren mit **Read.Field** bzw. **Read.FieldS** eingelesen werden.

- Die Operation von **Read.Field** hängt von folgenden impliziten Parametern ab, die alle über das Modul **StreamDisciplines** gesetzt werden können:

  - Die Menge der Feldtrenner. (In diesem konkreten Beispiel haben wir immer nur einen einzelnen Feldtrenner).

  - Die Sequenz für den Zeilenterminator. (Bleibt hier unverändert, ist normalerweise einfach nur **ASCII.nl**).

  - Die Menge der Leerzeichen. (Bleibt hier ebenso unverändert und besteht per Voreinstellung aus dem Leerzeichen, dem Tabulator, dem Zeilen- und dem Seitenvorschub).

- Folgen von Feldtrennern, die zugleich auch als Leerzeichen gelten, werden zu einem Trenner zusammengefaßt.

- Leerzeichen, die ein Feld umgeben, werden entfernt.

- **Read.Field** überliest nie den Zeilentrenner, sondern liefert **FALSE** am Zeilenende. Der Zeilentrenner kann dann mit **Read.Ln** übersprungen werden.

Einlesen von Feldern

CutFields.om

```
PROCEDURE CutAndCopy(in: Streams.Stream;
                     out: Streams.Stream;
                     selected: SET; (* selected fields *)
                     fieldsep: CHAR) : BOOLEAN;
   VAR
      field: ARRAY 512 OF CHAR; fieldno: INTEGER;
      insertsep: BOOLEAN; fieldseps: Sets.CharSet;
BEGIN
   Sets.InitSet(fieldseps);
   Sets.InclChar(fieldseps, fieldsep);
   StreamDisciplines.SetFieldSepSet(in, fieldseps);
   LOOP
      fieldno := 0; insertsep := FALSE;
      WHILE Read.FieldS(in, field) DO
         IF fieldno IN selected THEN
            IF insertsep THEN
               Write.CharS(out, fieldsep);
            ELSE
               insertsep := TRUE;
            END;
            Write.StringS(out, field);
         END;
         INC(fieldno);
      END;
      IF in.eof THEN RETURN TRUE END;
      IF in.error THEN RETURN FALSE END;
      Read.LnS(in);
      IF in.eof THEN RETURN TRUE END;
      IF in.error THEN RETURN FALSE END;
      Write.LnS(out);
      IF out.errors > 0 THEN RETURN FALSE END;
   END;
END CutAndCopy;
```

Einlesen von Feldern

CutFields.om

```
Sets.InitSet(fieldseps);
Sets.InclChar(fieldseps, fieldsep);
StreamDisciplines.SetFieldSepSet(in, fieldseps);
```

- Das Modul **Sets** unterstützt Mengen, die umfangreicher sind als **SET**.

- **Sets.CharSet** ist ein Mengentyp, der beliebige Zeichen (also **CHAR**) aufnehmen kann. **fieldseps** ist hier von diesem Typ.

- Mit **Sets.InitSet** wird eine Menge zu der leeren Menge initialisiert.

- Mit **Sets.InclChar** wird ein Element in eine Menge aufgenommen (analog zu **INCL**).

- Die Menge der Feldtrenner für einen Stream wird mit **StreamDisciplines.SetFieldSepSet** festgelegt.

Einlesen von Feldern

CutFields.om

```
fieldno := 0; insertsep := FALSE;
WHILE Read.FieldS(in, field) DO
   IF fieldno IN selected THEN
      IF insertsep THEN
         Write.CharS(out, fieldsep);
      ELSE
         insertsep := TRUE;
      END;
      Write.StringS(out, field);
   END;
   INC(fieldno);
END;
```

- Da **Read.FieldS** nicht den Zeilentrenner überspringt, können bequem alle Felder einer Zeilen mit einer **WHILE**-Schleife abgearbeitet werden.

- Zu beachten ist hier, daß bei einer unzureichenden Länge des Arrays **field** Feldinhalte stillschweigend abgeschnitten werden.

Sortierverfahren

- Gegeben seien n Datensätze $R_1 \cdots R_n$ vom gleichen Typ, die im Hauptspeicher (z.B. in einem Array) liegen.

- Die Datensätze haben ein oder mehrere Felder, die zusammen die Schlüssel $K_1 \cdots K_n$ bilden.

- Für die Schlüssel gibt es eine vollständige Ordnungsrelation $\leq$.

- Eine Ordnungs-Relation $\leq$ ist vollständig, wenn

  - $a \leq a$ (Reflexivität)

  - $a \leq b \wedge b \leq a \Rightarrow a = b$ (Antisymmetrie)

  - $a \leq b \wedge b \leq c \Rightarrow a \leq c$ (Transitivität)

- Gesucht wird eine Permutation $p(1) \cdots p(n)$, so daß gilt: $K_{p(1)} \leq K_{p(2)} \leq \cdots \leq K_{p(n)}$.

- Literatur: "The Art of Computer Programming" von Donald E. Knuth, Volume 3, "Sorting and Searching".

Verfahrensvarianten

- Es wird von internen Sortierverfahren gesprochen, wenn alle zu sortierenden Datensätze im Hauptspeicher liegen.
- Es gibt sehr viele interne Sortierverfahren, die aber praktisch alle in eine der folgenden Kategorien fallen:
  - Sortieren durch Einfügen: Die Datensätze werden nacheinander bearbeitet und jeder wird entsprechend seines Schlüssels in die bereits sortierten Datensätze eingefügt.
  - Sortieren durch Austauschen: Wenn zwei Datensätze nicht der gewünschten Ordnung entsprechen, werden sie miteinander getauscht. Das wird solange fortgesetzt, bis alle sortiert vorliegen.
  - Sortieren durch Auswählen: Das kleinste (oder das größte) Element wird herausgenommen und in eine neue Datenstruktur angefügt.
  - Sortieren durch Zählen: Jeder Datensatz wird mit allen anderen verglichen. Die neue Position ergibt sich durch die Zahl der Datensätze, zu denen der Datensatz größer ist.

Kriterien zur Verfahrensauswahl

Viele Sortierverfahren können sinnvoll im Einsatz sein. Die Auswahl hängt u.a. von folgenden Kriterien ab:

- Wieviele Datensätze sind zu sortieren?

- Wie effizient sind die einzelnen benötigten Zugriffsoperationen für die gegebene Datenstruktur? Wir kennen bislang Arrays, bei denen der Zugriff auf das i-te Element sehr effizient ist, aber das Einfügen zu aufwendigen Verschiebeoperationen führt.

- Sind die Datensätze bereits vorsortiert oder nahezu sortiert? Oder ist von einer zufälligen Permutation auszugehen?

- Wie groß ist der Wertebereich der Schlüssel?

- Wie aufwendig sind Vergleichsoperationen?

Sortieren durch Zählen

- Folgendes Sortierverfahren findet sich im Band 3 des Werks "The Art of Computer Programming" von D. Knuth:

- **Algorithm C** (*Comparison counting*). This algorithm sorts $R_1, \cdots, R_N$ on the keys $K_1, \cdots, K_N$ by maintaining an auxiliary table `COUNT[1]`$, \cdots,$ `COUNT[`N`]` to count the number of keys less than a given key. After the conclusion of the algorithm, `COUNT[j] + 1` will specify the final position of record R_j.

  C1. [Clear `COUNT`s.] Set `COUNT[1]` through `COUNT[`N`]` to zero.

  C2. [Loop on i.] Perform step C3, for $i = N, N-1, \cdots, 2$; then terminate the algorithm.

  C3. [Loop on j.] Perform step C4, for $j = i-1, i-2, \cdots, 1$.

  C4. [Compare $K_i : K_j$.] If $K_i < K_j$, increase `COUNT[j]` by 1; otherwise increase `COUNT[i]` by 1.

Einfacher Rahmen eines Sortierprogramms

ComparisonCounting.om

```
MODULE ComparisonCounting;

   IMPORT Read, Streams, Write;

   CONST
      maxitems = 128;
   TYPE
      Item = INTEGER;
      Items = ARRAY maxitems OF Item;

   PROCEDURE Sort(VAR items: Items; nofitems: INTEGER);
      (* ... *)
   END Sort;

   PROCEDURE ReadItems(VAR items: Items) : INTEGER;
      (* ... *)
   END ReadItems;

   PROCEDURE WriteItems(items: Items; nofitems: INTEGER);
      (* ... *)
   END WriteItems;

   PROCEDURE DoIt;
      (* ... *)
   END DoIt;

BEGIN
   DoIt;
END ComparisonCounting.
```

Sortierprozedur

ComparisonCounting.om

```
PROCEDURE Sort(VAR items: Items; nofitems: INTEGER);
   VAR
      myitems: Items; (* local copy of items *)
      count: ARRAY maxitems OF INTEGER;
      i, j: INTEGER; (* indices of items and myitems *)
BEGIN
   (* initialize count array *)
   i := 0;
   WHILE i < nofitems DO
      count[i] := 0; INC(i);
   END;
   (* work on a local copy of items *)
   myitems := items;
   (* compare all items with each other and count *)
   i := nofitems-1;
   WHILE i >= 1 DO
      j := i-1;
      WHILE j >= 0 DO
         IF myitems[j] <= myitems[i] THEN
            INC(count[i]);
         ELSE
            INC(count[j]);
         END;
         DEC(j);
      END;
      DEC(i);
   END;
   (* update items according to count *)
   i := 0;
   WHILE i < nofitems DO
      items[count[i]] := myitems[i]; INC(i);
   END;
END Sort;
```

O-Notation

- Generell ist es sehr sinnvoll, den Rechenzeitaufwand eines Algorithmus in Abhängigkeit von n (Datenumfang oder andere entscheidende Problemgröße) abzuschätzen.

- Hierzu eignet sich die von Paul Bachmann 1894 eingeführte O-Notation an:
  $g(n) = O(f(n))$ für $n \in \mathbb{N}$, falls $\exists M, n_0 \in \mathbb{N}$, so daß gilt
  $\mid g(n) \mid \leq \mid Mf(n) \mid \;\; \forall\, n \geq n_0$.

- Einige Beispiele:

$O(1)$	konstanter Aufwand, unabhängig von n
$O(n)$	linearer Aufwand (z.B. Einlesen von n Zahlen)
$O(n \ln n)$	Aufwand guter Sortierverfahren
$O(n^2)$	quadratischer Aufwand
$O(n^k)$	polynomialer Aufwand (bei festem k)
$O(2^n)$	exponentieller Aufwand
$O(n!)$	Bestimmung aller Permutationen von n Elementen

- Die O-Notation hilft insbesondere bei der Beurteilung, ob ein Algorithmus für großes n noch geeignet ist bzw. erlaubt einen Effizienz-Vergleich zwischen verschiedenen Algorithmen für große n.

Aufwand des Sortierens durch Zählen

- Sei n die Zahl der zu sortierenden Datensätze (repräsentiert durch die Variable **nofitems** im Programm).

- Wir haben in der Prozedur **Sort** drei äußere Schleifen.

- Bei der ersten und letzten Schleife ist der Aufwand jeweils $O(n)$, zusammen also $O(2n)$, was wiederum $O(n)$ entspricht, da bei der O-Notation konstante Faktoren einfach weggestrichen werden können.

- Die innerste Schleife benötigt im ersten Durchlauf $N-1$ Schritte, im zweiten Durchlauf $N-2$ Schritte und zuletzt nur noch einen Schritt. In der Summe ergibt das

$$
\begin{aligned}
N-1+N-2+\cdots+1 &= \sum_{i=1}^{N-1} i \\
&= \frac{(N-1)N}{2} \\
&< O(n^2)
\end{aligned}
$$

- Die Summe für den gesamten Aufwand bleibt dann bei $O(n^2)$.

Sortieren durch Zählen von Häufigkeiten

- Folgendes Sortierverfahren findet sich im Band 3 des Werks "The Art of Computer Programming" von D. Knuth:

- **Algorithm D** (*Distribution counting*). Assuming that all keys are integers in the range $u \leq K_j \leq v$ for $1 \leq j \leq N$, this algorithm sorts the records $R_1, \ldots, R_N$ by making use of an auxiliary table $\texttt{COUNT}[u], \ldots, \texttt{COUNT}[v]$. At the conclusion of the algorithm the records are moved to an output area $S_1, \ldots, S_N$ in the desired order.

  D1. [Clear COUNTS.] Set $\texttt{COUNT}[u]$ through $\texttt{COUNT}[v]$ all to zero.

  D2. [Loop on j.] Perform step D3, for $1 \leq j \leq N$; then go to step D4.

  D3. [Increase $\texttt{COUNT}[K_j]$.] Increase the value of $\texttt{COUNT}[K_j]$ by 1.

  D4. [Accumulate.] (At this point $\texttt{COUNT}[i]$ is the number of keys that are equal to *i*.) Set $\texttt{COUNT}[i] \leftarrow \texttt{COUNT}[i] + \texttt{COUNT}[i-1]$, for $i = u+1, u+2, \ldots, v$.

  D5. [Loop on j.] (At this point $\texttt{COUNT}[i]$ is the number of keys that are less than or equal to i; in particular, $\texttt{COUNT}[v] = N$.) Perform step D6 for $j = N, N-1, \ldots, 1$; then terminate the algorithm.

  D6. [Output R_j.] Set $i \leftarrow \texttt{COUNT}[K_j]$, $S_i \leftarrow R_j$, and $\texttt{COUNT}[K_j] \leftarrow i-1$.

Aufwand des Sortierens durch Zählen von Häufigkeiten

- Sei n die Zahl der zu sortierenden Datensätze und $m := v-u+1$ die Länge des Intervalls $[u, v]$.
- D1: $O(n)$.
- D2/D3: $O(n)$.
- D4: $O(m)$.
- D5/D6: $O(n)$.
- In der Summe ergibt dies $3 \cdot O(n) + O(m) = O(n+m)$.
- Dieses Sortierverfahren ist überraschend schnell, wenn der Wertebereich der Schlüssel sehr klein ist.
- Es ist aber nicht geeignet für große m, insbesondere wenn $m \gg n$.
- Es kann aber verwendet werden, um recht rasch eine große Datenmenge entsprechend einer Partitionierung des Schlüsselraums (z.B. aufgrund eines Prefix wie beispielsweise dem ersten Buchstaben) zu sortieren.

Sortierprozedur

DistributionCounting.om

```
PROCEDURE Sort(VAR items: Items; min, max: INTEGER;
               nofitems: INTEGER);
   VAR
      myitems: Items; (* local copy of items *)
      count: ARRAY maxintervallen OF INTEGER;
      i, j: INTEGER; (* indices of items and myitems *)
BEGIN
   (* D1 *)
   i := 0;
   WHILE i < max - min + 1 DO
      count[i] := 0; INC(i);
   END;
   (* make local copy of items *)
   myitems := items;
   (* D2/D3 *)
   i := 0;
   WHILE i < nofitems DO
      INC(count[myitems[i] - min]); INC(i);
   END;
   (* D4 *)
   i := 1;
   WHILE i < max - min + 1 DO
      INC(count[i], count[i-1]); INC(i);
   END;
   (* D5/D6 *)
   j := nofitems-1;
   WHILE j >= 0 DO
      i := count[myitems[j] - min];
      items[i-1] := myitems[j];
      DEC(count[myitems[j] - min]);
      DEC(j);
   END;
END Sort;
```

Sortieren durch Austauschen

- Folgendes Sortierverfahren findet sich im Band 3 des Werks "The Art of Computer Programming" von D. Knuth:

- **Algorithm B** (*Bubble sort*). Records $R_1, \ldots, R_N$ are rearranged in place; after sorting is complete their keys will be in order, $K_1 \leq \cdots \leq K_N$.

  B1. [Initialize `BOUND`.] Set `BOUND` $\leftarrow N$. (`BOUND` is the highest index for which the record is not known to be in its final position; thus we are indicating that nothing is known at this point.)

  B2. [Loop on j.] Set $t \leftarrow 0$. Perform step B3 for $j = 1, 2, \ldots,$ `BOUND`-1, and then go to step B4. (If `BOUND` $= 1$, this means go directly to B4.)

  B3. [Compare/exchange $R_j : R_{j+1}$.] If $K_j > K_{j+1}$, interchange $R_j \leftrightarrow R_{j+1}$ and set $t \leftarrow j$.

  B4. [Any exchanges?] If $t = 0$, terminate the algorithm. Otherwise set `BOUND` $\leftarrow t$ and return to step B2.

Aufwand des Bubble-Sort-Algorithmus

- Sei n die Zahl der zu sortierenden Datensätze.
- Im schlimmsten Fall ist $K_1 > K_i$ für alle $i = 2, \ldots, i = n$.
- Dann wird im ersten Durchlauf von B2 innerhalb von B3 u.a. R_1 mit R_2 vertauscht, im zweiten Durchlauf von B2 kommt es u.a. zum Tausch von R_2 mit R_3 usw.
- Erst nach $n-1$ Durchläufen landet der ursprüngliche Datensatz R_1 in R_n.
- Das ergibt entsprechenden quadratischen Aufwand von $O(n^2)$.
- Falls jedoch die Datensätze bereits sortiert vorliegen, reduziert sich der Aufwand auf $O(n)$.

Sortierprozedur

BubbleSort.om

```
PROCEDURE Sort(VAR items: Items; nofitems: INTEGER);
   VAR
      bound: INTEGER;
         (* items[0] .. items[bound] are possibly unsorted;
            items[bound+1] .. items[nofitems-1] are sorted
            and at their final positions
         *)
      t: INTEGER;
         (* highest t where items[t] is possibly not
            yet sorted
         *)
      j: INTEGER;
         (* index of items *)
      item: Item;
         (* temporary variable for swapping *)
BEGIN
   bound := nofitems - 1; (* B1 *)
   REPEAT
      (* B2 *)
      j := 0; t := 0;
      WHILE j < bound DO
         (* B3 *)
         IF items[j] > items[j+1] THEN
            item := items[j];
            items[j] := items[j+1];
            items[j+1] := item;
            t := j;
         END;
         INC(j);
      END;
      bound := t; (* B4 *)
   UNTIL bound = 0;
END Sort;
```

Abhängigkeiten der Sortierprozedur

- Die Sortierprozeduren, die wir bislang gesehen haben, hatten eine Reihe von Abhängigkeiten vom zu sortierenden Datentyp:
  - Sie müssen Variablen vom zu sortierenden Datensatz und ggf. vom zu vergleichenden Schlüssel deklarieren.
  - Sie müssen wissen, wie die Schlüssel zu vergleichen sind.
  - Sie müssen wissen, wie Datensätze auszutauschen sind.
- Dies hat zur Folge, daß bei mehreren Sortier-Problemen auch mehrere individuelle Sortier-Prozeduren geschrieben werden müssen, die jeweils an die individuellen Typen angepasst sind.
- Diese Problematik ließe sich vermeiden, wenn Zugriffe auf die Datensätze und Vergleichs-Operationen von der Sortierprozedur getrennt werden könnten.
- Das ließe sich lösen, wenn entsprechende Operationen als Parameter an die Sortier-Prozedur übergeben werden könnten.
- Das ist möglich mit Hilfe von Prozedur-Typen.

Prozedurtypen

BubbleSort2.om

```
TYPE
   GreaterThanProc = PROCEDURE (i, j: INTEGER) : BOOLEAN;
      (* return true if item i is > item j *)
   ExchangeProc = PROCEDURE (i, j: INTEGER);
      (* swap items i and j *)
```

- Deklarationen von Prozedurtypen gleichen den gewohnten Prozedurköpfen. Nur der Prozedurname fällt weg.
- Danach können Variablen oder Parameter von so einem Typ deklariert werden.
- Dann können an diese Variablen oder Parameter Prozeduren dieses Typs zugewiesen oder übergeben werden.

BubbleSort2.om

```
PROCEDURE Sort(gt: GreaterThanProc;
               exchange: ExchangeProc;
               nofitems: INTEGER);
```

Prozedurtypen

BubbleSort2.om

```
PROCEDURE IntegerGreaterThan(i, j: INTEGER) : BOOLEAN;
BEGIN
   RETURN integers[i] > integers[j]
END IntegerGreaterThan;

PROCEDURE ExchangeIntegers(i, j: INTEGER);
   VAR
      tmp: Integer;
BEGIN
   tmp := integers[i];
   integers[i] := integers[j];
   integers[j] := tmp;
END ExchangeIntegers;
```

- Die Prozeduren **IntegerGreaterThan** und **ExchangeIntegers** passen genau zu den Prozedurtypen **GreaterThanProc** und **ExchangeProc**.
- Entsprechend können diese Prozedur als Parameter an **Sort** übergeben werden:

BubbleSort2.om

```
PROCEDURE SortIntegers;
   VAR
      nofitems: INTEGER;
BEGIN
   nofitems := ReadIntegers(integers);
   IF nofitems > 0 THEN
      Sort(IntegerGreaterThan, ExchangeIntegers, nofitems);
      WriteIntegers(integers, nofitems);
   END;
END SortIntegers;
```

Typunabhängige Sortierprozedur

BubbleSort2.om

```
PROCEDURE Sort(gt: GreaterThanProc;
               exchange: ExchangeProc;
               nofitems: INTEGER);
   VAR
      bound: INTEGER;
         (* items[0] .. items[bound] are possibly unsorted;
            items[bound+1] .. items[nofitems-1] are sorted
            and at their final positions
         *)
      t: INTEGER;
         (* highest t where items[t] is possibly
            not yet sorted
         *)
      j: INTEGER;
         (* index of items *)
BEGIN
   bound := nofitems - 1;
   REPEAT
      (* B2 *)
      j := 0; t := 0;
      WHILE j < bound DO
         (* B3 *)
         IF gt(j, j+1) THEN
            exchange(j, j+1);
            t := j;
         END;
         INC(j);
      END;
      (* B4 *)
      bound := t;
   UNTIL bound = 0;
END Sort;
```

Nachteil von Prozedurtypen

- Bei Prozedurtypen gibt es eine wesentliche Einschränkung in Oberon: Es dürfen nur globale Prozeduren an Variablen oder Parameter eines Prozedurtyps zugewiesen oder übergeben werden.
- Das bedeutet, daß der Prozedur nur ihre Parameter und globale Variablen zur Verfügung stehen.
- Da wir die Sortierprozedur unabhängig von dem zu sortierenden Typ halten wollten, können wir das zu sortierende Array nicht als Parameter übergeben.
- Daraus folgt, daß die zu sortierenden Arrays in globalen Variablen untergebracht werden müssen.
- Es gibt Programmiersprachen, die auch lokale Prozeduren zulassen. Diese sorgen dann dafür, daß die Umgebung einer lokalen Prozedur auch erhalten bleibt, wenn es eine entsprechende Referenz auf eine lokale Prozedur gibt. Beispiele dafür sind Scheme und Perl.
- In Sprachen mit objekt-orientierten Techniken wird das Problem typischerweise anders gelöst. In Oberon geschieht dies durch sogenannte Typ-Erweiterungen. Mehr dazu im nächsten Semester.

Vorteil von Prozedurtypen

BubbleSort2.om

```
PROCEDURE SortStrings;
   VAR
      nofitems: INTEGER;
BEGIN
   nofitems := ReadStrings(strings);
   IF nofitems > 0 THEN
      Sort(StringGreaterThan, ExchangeStrings, nofitems);
      WriteStrings(strings, nofitems);
   END;
END SortStrings;
```

- Die gewonnene Flexibilität durch Prozedurtypen ermöglicht es jetzt, die gleiche Sortierprozedur für unterschiedliche Sortierprobleme zu lösen.

- Entsprechend der Optionen auf der Kommandozeile können nun unterschiedliche Typen und Kriterien ausgewählt werden.

Quicksort

- Wenn wir jeden zu sortierenden Datensatz mit nahezu jeden anderen Datensatz vergleichen, erreichen wir einen Aufwand von $O(n^2)$.

- Ein besseres Sortierverfahren muß also insbesondere die Zahl der Vergleiche reduzieren. Das ist nur möglich, wenn nicht nur unmittelbare Nachbarn miteinander verglichen werden.

- Hier erscheint es sinnvoll, kleinere Teilmengen der Datensätze isoliert zu sortieren.

- Um die Gesamtmenge der Datensätze zu sortieren ist dann entweder einer Vorsortierung oder eine Nachsortierung notwendig.

- Ein Beispiel für einen Algorithmus mit Vorsortierung ist der sogenannte Quicksort-Algorithmus von C. A. R. Hoare.

- Ein (hier nicht weiter behandeltes) Beispiel mit Nachsortierung ist der von Knuth "merge exchange sort" genannte Algorithmus von K. E. Batcher.

Partitionierung

- Gegeben seien die Schlüssel $K_1, \ldots, K_n$.
- Eine Vorsortierung zerlegt die Schlüssel in einzelne Partitionen. Bei Quicksort findet immer eine Zerlegung in zwei Partitionen statt.
- Ein beliebiger Schlüssel P (das sogenannte Pivot-Element) aus K_1 ... K_n ist auszuwählen (beispielsweise K_1).
- Dann wird K so partitioniert, daß es i, j aus $1..n$ gibt, so daß gilt

  - $i = j + 1$,
  - $K_t \leq P \; \forall \; t \in 1 \ldots j$ und
  - $K_t \geq P \; \forall \; t \in i \ldots n$.

Nachsortierung

- Die Nachsortierung kann darin bestehen, daß eine Partitionierung für beide Bereiche erneut vorgenommen wird.

- Wenn kein oder nur ein Schlüssel vorliegt, ist keine weitere Partitionierung notwendig.

- Wenn zwei Schlüssel partitioniert werden, liegt die Menge danach sortiert vor.

- Es ist also möglich, nur mit Partitionierungen auszukommen.

- Alternativ kann auf ein einfaches Sortierverfahren zurückgegriffen werden, wenn die Restmenge genügend klein ist.

Partitionierungsverfahren

QuickSort.om

```
i := first; j := last;
REPEAT
   WHILE gt(pivot, i) DO
      INC(i);
   END;
   WHILE gt(j, pivot) DO
      DEC(j);
   END;
   IF i <= j THEN
      Exchange(i, j, pivot);
      INC(i); DEC(j);
   END;
UNTIL i > j;
```

- Die Variablen **first** und **last** geben den zu sortierenden Bereich an.
- Da wir partitionierte Bereiche erneut partionieren möchten, liegen diese nur zu Beginn bei 1 und **nofitems**.
- Der Index **pivot** zeigt auf das ausgewählte Pivot-Element.
- Der Index **i** wird dann, beginnend von **first**, aufwärts gezählt, während der Index **j** heruntergezählt wird.
- Alle Schlüssel werden mit dem Pivot-Element verglichen. Dabei suchen wir ein Paar i, j mit $K_i \leq P$ und $K_j \geq P$. Dies wird getauscht.
- Die Partitionierung ist beendet, sobald $i > j$, d.h. beide Indizes "überkreuzt" sind.

Partitionierungsverfahren

QuickSort.om

```
PROCEDURE Exchange(i, j: INTEGER; VAR pivot: INTEGER);
   (* update the index of the pivot element if necessary *)
BEGIN
   exchange(i, j);
   IF pivot = i THEN
      pivot := j;
   ELSIF pivot = j THEN
      pivot := i;
   END;
END Exchange;
```

- Wenn ein Austausch stattfindet, der den Index des Pivot-Elements betrifft, muß dieser aktualisiert werden.
- Andernfalls kommt es implizit zu einem Wechsel des Pivot-Elements.
- Dies wäre harmlos, wenn zu Beginn **pivot** dem Wert von **first** gleichen würde. Bei jeder anderen Wahl könnte das jedoch fatal sein.

Flut von zu sortierenden Partitionen

- Wenn wir partitionierte Bereiche wiederum dem gleichen Partitionierungsverfahren unterwerfen möchten, müssen wir berücksichtigen, daß nach jeder Partitionierung zwei neue Partitionierungen entstehen.

- Das kann nur entfallen, wenn die Partionierungen genügend klein werden (0 oder 1 Schlüssel).

- Eine einfache Schleife genügt dafür nicht, da wir uns nur eine der beiden neu entstandenen Partitionen als nächstes vorknöpfen können.

- Eine Lösung ist die Verwendung eines Stapels mit zu erledigenden Arbeiten. Ein Arbeitsauftrag kann hierbei vollständig mit zwei Indizes für den sortierenden Bereich spezifiziert werden (**first** und **last**):

QuickSort.om

```
TYPE
   Job =
      RECORD
         first, last: INTEGER;
      END;
```

Stapel mit Aufträgen

QuickSort.om

```
CONST
   stacklen = maxitems;
VAR
   jobs: ARRAY stacklen OF Job;
   top: INTEGER;
```

- Wenn uns die Reihenfolge der Abarbeitung von Aufträgen egal ist, ist ein Stapel als Datenstruktur ideal.

- Ein Stapel besteht aus einem Array und einem zugehörigen Index, der den Füllgrad des Arrays angibt. Letzteres entspricht genau der Zahl der gespeicherten Aufträge.

- Wenn ein Auftrag hinzukommt, wird dieser bei `jobs[top]` untergebracht und `top` anschließend um eins erhöht.

- Aufträge gibt es, solange der Index positiv ist. Ein Auftrag wird genommen indem zuerst `top` um eins gesenkt wird und dann `jobs[top]` verwendet wird.

Stapel mit Aufträgen

QuickSort.om

```
PROCEDURE PushJob(first, last: INTEGER);
BEGIN
   ASSERT(top < stacklen);
   jobs[top].first := first;
   jobs[top].last := last;
   INC(top);
END PushJob;

PROCEDURE FetchJob(VAR first, last: INTEGER) : BOOLEAN;
BEGIN
   IF top = 0 THEN RETURN FALSE END;
   DEC(top);
   first := jobs[top].first;
   last := jobs[top].last;
   RETURN TRUE
END FetchJob;
```

- **PushJob** übernimmt einen Auftrag und legt ihn ganz oben auf den Stapel.
- **FetchJob** liefert **FALSE**, falls kein Auftrag mehr vorliegt. Ansonsten wird der Auftrag über die beiden Referenz-Parameter **first** und **last** zurückgegeben.

Quick-Sort Sortierprozedur

QuickSort.om

```
top := 0; (* initialize job stack *)
PushJob(0, nofitems-1);
WHILE FetchJob(first, last) DO
   (* sort all items with indices first..last *)
   IF first < last THEN
      (* select pivot element *)
      pivot := (first + last) DIV 2;
      (* divide ... *)
      i := first; j := last;
      REPEAT
         WHILE gt(pivot, i) DO
            INC(i);
         END;
         WHILE gt(j, pivot) DO
            DEC(j);
         END;
         IF i <= j THEN
            Exchange(i, j, pivot);
            INC(i); DEC(j);
         END;
      UNTIL i > j;
      (* ... and conquer *)
      PushJob(first, j);
      PushJob(i, last);
   END;
END;
```

Aufwand des Quicksort-Verfahrens

- Nehmen wir an, daß es uns jeweils gelänge ein Pivot-Element auszuwählen, das genau dem Median der Schlüssel des zu partitionierenden Bereiches entspricht.
- Dann würde eine Partitionierung immer zwei gleich große Partitionen erzeugen.
- Nach $log_2 n$ Partitionierungen landen wir dann bei Partitionen mit einem Element.
- Der Partitionierungsaufwand ist linear abhängig von der Größe des zu partitionierenden Bereichs.
- Zusammengerechnet ergibt das immer $O(n)$.
- Beides miteinander multipliziert ergibt dann $O(n \ log_2 n)$.

Aufwand des Quicksort-Verfahrens

- Das war der Idealfall!
- Nehmen wir an, daß das Pivot-Element jeweils am Rand liegt.
- Dann haben wir eine Partition mit einem Element und eine mit dem Rest.
- Dann benötigen wir $n - 1$ Partitionierungen.
- Das führt zu einem Gesamtaufwand von $O(n^2)$.
- Leider passiert das genau dann, wenn wir jeweils den ersten Schlüssel als Pivot-Element wählen und die zu sortierende Menge bereits sortiert vorliegt.
- Das Problem kann entschärft werden, wenn mehr Aufwand in die Auswahl des Pivot-Elements investiert wird (zufällige Auswahl beispielsweise oder Median von drei ausgewählten Schlüsseln).

Testen

Einige Zitate aus dem Buch von Glenford Myers, “The Art of Software Testing”:

- “Testing is the process of executing a program with the intent of finding errors.”
- “A good test case is one that has a high probability of detecting an as-yet undiscovered error.”
- “A successful test case is one that finds an error. An unsuccessful test case is one that causes a program to produce the correct result.”
- “One should start with the assumption that the program contains errors and then test the program to find as many of the errors as possible.”

Erste Schlußfolgerungen:

- Testen ist ein destruktiver Prozeß.
- Der Aufwand, der in die Entwicklung von Tests fließt, zahlt sich aus, wenn genügend Fehler gefunden werden, deren Behebung später sehr viel teuer kommen würden (z.B. nach Auslieferung eines Software-Produkts).
- Tests erlauben es, die Existenz von Fehlern nachzuweisen, jedoch nicht die Korrektheit eines Programms.

Test-Prinzipien

Zitiert aus dem Werk von Glenford Myers, “The Art of Software Testing”:

- A necessary part of a test case is a definition of the expected output or result.
- A programmer should avoid attempting to test his or own program.
- A programming organization should not test its own programs.
- Thoroughly inspect the results of each test.
- Test cases must be written for invalid and unexpected, as well as valid and expected, input conditions.
- Examining a program to see if it does not do what it is supposed to do is only half of the battle. The other half is seeing whether the program does what it is not supposed to do.
- Avoid throw-away test cases unless the program is truly a throw-away program.
- Do not plan a testing effort under the tacit assumption that no errors will be found.
- The probability of the existence of more errors in a section of a program is proportional to the number of errors already found in that section.

Terminologie

Folgende Begriffe wurden zuerst von Flaviu Cristian 1985 formal definiert (in einer Arbeit über die Robustheit von Software) und später von anderen übernommen. Hier sind einige informelle Definitionen:

- Versagen (*failure*): Ein Programm verhält sich abweichend von der Spezifikation.
- Fehler (*error*): Der interne Zustand eines laufenden Programms ist unzulässig oder inkonsistent. Beispiele: Undefinierte Variablen, die hätten initialisiert werden müssen, Verletzungen von Invarianten, Vor- oder Nachbedingungen.
- Mangel (*fault*): Fehlerhafter Programmtext, der zum Auftreten von Fehlern während der Laufzeit führen kann.

Mängel sind statische Bestandteile des Programmtexts, die während eines Programmlaufs zu Fehlern führen können. Interne Fehler können wiederum zu einem von außen sichtbaren Versagen des Programms führen (Black-Box-Perspektive).

Testfälle dienen dazu, das Versagen eines Programms festzustellen. Während der Fehler-Analyse (Debugging) wird nach fehlerhaften Zuständen gesucht, die dann auf Mängel zurückgeführt werden, die dann letztenendes behoben werden können.

Was wird getestet?

- Einzelne Programmteile können einem Test unterworfen werden, z.B. Module, Klassen oder einzelne Prozeduren.

  Vorteil: Tests können frühzeitig entwickelt und zum Einsatz gebracht werden, lange bevor das gesamte Programm fertig wird. Das Finden der Mängel wird ebenfalls vereinfacht, weil die zu testenden Programmteile überschaubarer sind.

- Testen höheren Grades, d.h. ein vollständiges Programm wird getestet.

  Selbst sehr gründliche Tests aller Programmteile können nicht sicherstellen, daß das Gesamtwerk frei von Mängeln ist, da es häufig zu Inkonsistenzen zwischen den einzelnen Programmteilen kommt.

  Ferner können auf dieser Ebene Durchsatztests, Stress-Tests und Sicherheits-Tests durchgeführt werden.

Test-Strategien

- Black-Box-Test: Der Tester betrachtet das Programm (oder den zu testenden Programmteil) als “black box”, dessen Internals unbekannt sind. Entsprechend werden die Tests nur aus der Spezifikation abgeleitet ohne Kenntnisse der Implementierung.

- White-Box-Test: Testfälle werden von der internen Struktur des zu testenden Programms (oder Programmteils) und der Spezifikation abgeleitet. Diese Strategie geht davon aus, daß die Mängel in einzelnen Ausdrücken, Anweisungen oder Bedingungen stecken. Entsprechend werden Testfälle entwickelt mit dem Ziel, alle Anweisungen, Verzweigungen, Bedingungen und/oder Pfade abzudecken.

Techniken zur Generierung von Testfällen

- Black-Box:
  - Bildung von Äquivalenzklassen
  - Untersuchung von Grenzwerken
  - Aufstellung von Ursache-Wirkungs-Graphen
  - Erraten typischer Fehler
- White-Box:
  - Abdeckung aller Anweisungen
  - Abdeckung aller Verzweigungen
  - Abdeckung aller Varianten bei Bedingungen
  - Abdeckung aller denkbaren Pfaden

Beispiel: Analyse von Dreiecken

Folgendes Beispiel wurde dem Werk “The Art of Software Testing” von Glenford Myers entnommen:

Spezifikation:

Drei ganzzahlige Zahlen sind von dem Programm von der Standard-Eingabe zu lesen. Diese Zahlen sind als Längen der drei Seiten eines Dreiecks zu interpretieren. Das Programm hat auszugeben, ob das Dreieck gleichseitig (*equilateral*), gleichschenklig (*isosceles*) oder ungleichmäßig (*scalene*) ist.

Äquivalenz-Klassen

Definitionen für die Tabelle auf der folgenden Seite:

- Sei a die erste ganze Zahl, b die zweite und c die dritte.
- W steht fuer "ganze Zahl".
- tr ist eine Kurzform für $(a + b > c)$ AND $(a + c > b)$ AND $(b + c > a)$, d.h. die Summe zwei beliebiger Seiten ist länger als die dritte Seite.
- $maxint$ sei die größte ganze Zahl, die von der lokalen Implementierung repräsentiert werden kann.
- $NUMBER$ steht für eine beliebige Zahl, wobei es sich um eine ganze Zahl oder um eine Gleitkommazahl handeln kann.

a, b, c W AND > 0 ist so zu interpretieren: "a und b und c sind ganze Zahlen und größer als 0."
a, b, c NOT W ist so zu interpretieren: "Nicht (a und b und c sind ganze Zahlen)", d.h. "a oder b oder c ist keine ganze Zahl."

Diese Definitionen und die folgende Aufteilung in Äquivalenz-Klassen wurde aus einem Skript von Franz Schweiggert, Universität Ulm, entnommen.

Äquivalenz-Klassen

Klasse	Beschreibung	Erwartete Ausgabe
1	$a, b, c\ W\ AND\ >\ 0\ AND\ tr\ AND$ $(a\ \neq\ b\ \neq\ c)\ AND\ \leq\ maxint$	scalene
2	$a, b, c\ W\ AND\ >\ 0\ AND\ tr\ AND$ $(a\ =\ b\ =\ c)\ AND\ \leq\ maxint$	equilateral
3	$a, b, c\ W\ AND\ >\ 0\ AND\ tr\ AND$ $NOT\ (a\ \neq\ b\ \neq\ c)\ AND$ $NOT\ (a\ =\ b\ =\ c)\ AND$ $\leq\ maxint$	isosceles
4	$a, b, c\ W\ AND\ >\ 0\ AND$ $NOT\ tr\ AND\ \leq\ maxint$	no triangle
5	$a, b, c\ W\ AND\ >\ 0\ AND\ tr\ AND$ $NOT\ \leq maxint$	invalid input
6	$a, b, c\ W\ AND\ NOT\ >\ 0$	non-positive length(s)
7	$a, b, c\ NOT\ W\ AND\ >\ 0\ AND\ tr$	invalid input
8	$a, b, c\ NOT\ NUMBER$	invalid input

- In diesem Beispiel hängt die erwartete Ausgabe nur von der Äquivalenzklasse ab. Dies ist natürlich nicht zutreffend im allgemeinen Falle, bei dem für jeden Testfall einzeln die zu erwartende Ausgabe anzugeben ist.

Testfälle

Klasse	Nummer	Eingabedaten
1	1	3, 4, 5
	2	$maxint - 2$, $maxint - 1$, $maxint$
2	3	3, 3, 3
	4	$maxint$, $maxint$, $maxint$
3	5	3, 3, 4
	6	3, 4, 3
	7	4, 3, 3
	8	$maxint - 1$, $maxint - 1$, $maxint$
	9	$maxint - 1$, $maxint$, $maxint - 1$
	10	$maxint$, $maxint - 1$, $maxint - 1$
4	11	1, 2, 3
	12	3, 1, 2
	13	1, 3, 2
	14	1, 2, 4
	15	1, 4, 2
	16	4, 1, 2
	17	$maxint$, 1, 1
5	18	$maxint$, $maxint + 1$, $maxint$
6	19	0, 0, 0
	20	-2, 2, 2
	21	2, -2, -2
	22	-2, -2, -2
7	23	3.14, 3.14, 3.14
8	24	`#`, `a`, `?`
	25	3, `&`, `_`

- Hinweis: Die zu erwartende Ausgabe ist bei diesem Beispiel bereits bei den Äquivalenzklassen angegeben worden.

Ein Test-Kandidat

Triangles.om

```
MODULE Triangles;

   IMPORT Read, Streams, Write;

   (* ... *)

   PROCEDURE DoIt;
      VAR
         len1, len2, len3: INTEGER;
   BEGIN
      IF ~ReadIntegers(len1, len2, len3) THEN
         Write.Line("invalid input");
      ELSIF (len1 <= 0) OR (len2 <= 0) OR (len3 <= 0) THEN
         Write.Line("non-positive length(s)");
      ELSIF ~IsTriangle(len1, len2, len3) THEN
         Write.Line("no triangle");
      ELSIF IsEquilateral(len1, len2, len3) THEN
         Write.Line("equilateral");
      ELSIF IsIsosceles(len1, len2, len3) THEN
         Write.Line("isosceles");
      ELSE
         Write.Line("scalene");
      END;
   END DoIt;

BEGIN
   DoIt;
END Triangles.
```

Ein Test-Kandidat

Triangles.om

```
PROCEDURE IsTriangle(len1, len2, len3: INTEGER) : BOOLEAN;
BEGIN
   RETURN (len1 + len2 > len3) &
          (len1 + len3 > len2) &
          (len2 + len3 > len1)
END IsTriangle;

PROCEDURE IsEquilateral(len1, len2, len3: INTEGER) : BOOLEAN;
BEGIN
   RETURN (len1 > 0) & (len1 = len2) & (len2 = len3)
END IsEquilateral;

PROCEDURE IsIsosceles(len1, len2, len3: INTEGER) : BOOLEAN;
BEGIN
   RETURN IsTriangle(len1, len2, len3) &
          ((len1 = len2) OR (len1 = len3) OR (len2 = len3))
END IsIsosceles;

PROCEDURE ReadIntegers(VAR len1, len2,
                       len3: INTEGER) : BOOLEAN;

   PROCEDURE ReadInteger(VAR intval: INTEGER) : BOOLEAN;
   BEGIN
      Read.Int(intval);
      RETURN Streams.stdin.count > 0
   END ReadInteger;

BEGIN (* ReadIntegers *)
   RETURN ReadInteger(len1) & ReadInteger(len2) &
          ReadInteger(len3)
END ReadIntegers;
```

Die Test-Suite

triangle.tests

```
3 4 5:scalene
2147483645 2147483646 2147483647:scalene

3 3 3:equilateral
2147483647 2147483647 2147483647:equilateral

3 3 4:isosceles
3 4 3:isosceles
4 3 3:isosceles
2147483646 2147483646 2147483647:isosceles
2147483646 2147483647 2147483646:isosceles
2147483647 2147483646 2147483646:isosceles

1 2 3:no triangle
3 1 2:no triangle
1 3 2:no triangle
1 2 4:no triangle
1 4 2:no triangle
4 1 2:no triangle
2147483647 1 1:no triangle

2147483647 2147483648 2147483647:invalid input

0 0 0:non-positive length(s)
-2 2 2:non-positive length(s)
2 -2 -2:non-positive length(s)
-2 -2 -2:non-positive length(s)

3.14 3.14 3.14:invalid input

# a ?:invalid input
3 & _:invalid input
```

Die Test-Suite

triangle.tests

```
3 4 5:scalene
2147483645 2147483646 2147483647:scalene

3 3 3:equilateral
2147483647 2147483647 2147483647:equilateral
```

- Es sollte möglichst leicht sein, Testfälle hinzuzufügen oder zu verändern.
- In diesem Beispiel stehen alle Testfälle in einer Datei.
- Jede nicht-leere Zeile enthält die Standard-Eingabe, einen Doppelpunkt als Feldtrenner und die erwartete Ausgabe.
- Solche Eingabe-Formate können leicht erweitert werden, um komplexeren Anforderungen zu genügen.

Ein Testwerkzeug

TriangleTester.om

```
MODULE TriangleTester;

   IMPORT Read, Sets, StreamDisciplines, Streams,
      UnixFiles, UnixPipes, Write;

   CONST
      maxlen = 128;
   TYPE
      TestCase =
         RECORD
            input: ARRAY maxlen OF CHAR;
            expected: ARRAY maxlen OF CHAR;
            output: ARRAY maxlen OF CHAR;
         END;

   (* ... *)

BEGIN
   RunTestCases;
END TriangleTester.
```

- Ein Testfall besteht aus der Eingabe und der zu erwartenden Ausgabe. Sobald ein Test durchgeführt worden ist, kommt dann noch das beobachtete Resultat hinzu.

Ein Testwerkzeug

TriangleTester.om

```
PROCEDURE RunTestCases;
   VAR
      tests: Streams.Stream;
      test: TestCase;
      noftests, failures: INTEGER;
BEGIN
   IF ~OpenTestCases(tests) THEN
      Write.Line("Unable to open file with test cases!");
      RETURN
   END;
   noftests := 0; failures := 0;
   WHILE ReadTestCase(tests, test) DO
      INC(noftests);
      IF ~RunTestCase(test) THEN
         INC(failures);
         LogTestCase(noftests, test);
      END;
   END;
   Write.Int(failures, 1); Write.Char("/");
   Write.Int(noftests, 1); Write.Line(" tests failed.");
END RunTestCases;
```

- Für jeden eingelesenen Testfall wird der Test durchgeführt und bei einem Versagen des Testkandidats wird ein Testprotokoll ausgegeben.

Ein Testwerkzeug

TriangleTester.om

```
PROCEDURE OpenTestCases(VAR in: Streams.Stream) : BOOLEAN;
   CONST
      filename = "triangle.tests";
      fieldsep = ":";
   VAR
      fieldseps: Sets.CharSet;
BEGIN
   IF ~UnixFiles.Open(in, filename, UnixFiles.read,
         Streams.onebuf, NIL) THEN
      RETURN FALSE
   END;
   Sets.InitSet(fieldseps);
   Sets.InclChar(fieldseps, fieldsep);
   StreamDisciplines.SetFieldSepSet(in, fieldseps);
   RETURN TRUE
END OpenTestCases;

PROCEDURE ReadTestCase(in: Streams.Stream;
                       VAR test: TestCase) : BOOLEAN;
BEGIN
   LOOP
      test.output := "";
      IF Read.FieldS(in, test.input) &
            Read.FieldS(in, test.expected) THEN
         Read.LnS(in);
         RETURN in.count > 0
      END;
      IF in.eof OR in.error THEN
         RETURN FALSE
      END;
      (* skip an empty line *)
      Read.LnS(in);
   END;
END ReadTestCase;
```

Ein Testwerkzeug

TriangleTester.om

```
PROCEDURE RunTestCase(VAR test: TestCase) : BOOLEAN;
   VAR
      stdin, stdout, stderr: Streams.Stream;
BEGIN
   IF ~UnixPipes.Spawn3("./Triangles", Streams.linebuf,
         stdin, stdout, stderr, NIL) THEN
      RETURN FALSE
   END;
   Write.LineS(stdin, test.input); Streams.Release(stdin);
   Read.LineS(stdout, test.output); Streams.Release(stdout);
   Streams.Release(stderr);
   RETURN test.output = test.expected
END RunTestCase;
```

- Mit **UnixPipes.Spawn3** wird ein Programm so gestartet, daß die Standard-Eingabe, Standard-Ausgabe und die Standard-Fehlerausgabe des neuen Prozesses mit dem aufrufenden Prozess verbunden sind.

- Pipes sind unter UNIX unidirektionale Kommunikationskanäle zwischen Prozessen.

- Auf der Kommandozeile werden sie mit einem senkrechten Strich konstruiert.
  Beispiel: `ls /usr/bin | grep cal`

Ein Testwerkzeug

TriangleTester.om

```
PROCEDURE RunTestCase(VAR test: TestCase) : BOOLEAN;
   VAR
      stdin, stdout, stderr: Streams.Stream;
BEGIN
   IF ~UnixPipes.Spawn3("./Triangles", Streams.linebuf,
         stdin, stdout, stderr, NIL) THEN
      RETURN FALSE
   END;
   Write.LineS(stdin, test.input); Streams.Release(stdin);
   Read.LineS(stdout, test.output); Streams.Release(stdout);
   Streams.Release(stderr);
   RETURN test.output = test.expected
END RunTestCase;
```

- Zu beachten ist hier, daß die Bezeichnungen **stdin**, **stdout** und **stderr** aus der Sicht des aufgerufenen Programms so benannt sind.

- Entsprechend wird bei der Prozedur **RunTestCase** auf **stdin** geschrieben und diese Ausgabe erscheint dann als Eingabe beim aufgerufenen Programm.

- Die Ausgabe von **Triangles** kann dann danach von **stdout** gelesen werden.

- Die Fehlerausgabe **stderr** wird hier nicht weiter ausgewertet.

Ein Testlauf

```
dublin$ ./TriangleTester
  2: input = '2147483645 2147483646 2147483647'
     expected = 'scalene'
     output = 'no triangle'
  4: input = '2147483647 2147483647 2147483647'
     expected = 'equilateral'
     output = 'no triangle'
  8: input = '2147483646 2147483646 2147483647'
     expected = 'isosceles'
     output = 'no triangle'
  9: input = '2147483646 2147483647 2147483646'
     expected = 'isosceles'
     output = 'no triangle'
 10: input = '2147483647 2147483646 2147483646'
     expected = 'isosceles'
     output = 'no triangle'
5/25 tests failed.
dublin$
```

- Beim Testen stellt sich hier heraus, daß keine Vorkehrungen für mögliche Überläufe beim Addieren getroffen worden sind:

Triangles.om

```
PROCEDURE IsTriangle(len1, len2, len3: INTEGER) : BOOLEAN;
BEGIN
   RETURN (len1 + len2 > len3) &
          (len1 + len3 > len2) &
          (len2 + len3 > len1)
END IsTriangle;
```

Mangelbehebung

TriangleTester2.om

```
PROCEDURE IsTriangle(len1, len2, len3: INTEGER) : BOOLEAN;
BEGIN
   RETURN (len1 > len3 - len2) &
          (len1 > len2 - len3) &
          (len2 > len1 - len3)
END IsTriangle;
```

- Die Problematik mit den Überläufen läßt sich durch die Betrachtung von Differenzen vermeiden.

```
dublin$ ./TriangleTester
0/25 tests failed.
dublin$
```

Wann werden die Testfälle entwickelt?

- Bei der traditionellen Entwicklungsmethodik (Spezifikation, Entwurf, Implementierung, Testen, Wartung) wird erst sehr spät getestet und das Testen kann daher leicht zum Opfer des Termindrucks werden.

- Bei dem Ansatz "Test First" der Entwicklungsmethodik des "Extreme Programming" werden zuerst die Testfälle und die Testwerkzeuge entwickelt. Dann wird soweit die Implementierung vorangetrieben, daß genau die bislang entwickelten Testfälle erfolgreich bestanden werden. Danach werden weitere Testfälle entwickelt und entsprechend wird die Implementierung umfassender.

- Beim "Cleanroom Development" von Harlan Mills wird das Entwickeln der Implementierung und der Testfälle vollständig getrennt. Die Entwickler der Implementierung dürfen selbst ihr Werk nicht testen oder ausführen, sondern müssen fertige Programmteile an die Tester übergeben, die mit statischen Qualitätskontrollen arbeiten. Mangelbehaftete Programmteile werden dann intensiveren Kontrollen unterzogen.

White-Box-Tests

- White-Box-Tests gehen davon aus, daß viele Mängel in einzelnen Anweisungen, Ausdrücken oder der Logik von Bedingungen versteckt sind.

- Um möglichst viele dieser Mängel zu entdecken, wird nach Testfällen gesucht, die eine möglichst große Menge von denkbaren Pfaden durch das Programm abdecken.

- Leider führt eine vollständige Abdeckung zu einer astronomisch hohen Zahl von Testfällen.

- Folgende Abdeckungen sind üblich:

  - C0: Alle Anweisungen sind mindestens einmal auszuführen.

  - C1: Jede Verzweigung ist mindestens einmal auszuführen. Das heißt, daß bei einer **IF**-Anweisung ohne **ELSE**-Teil mindestens zwei Testfälle benötigt.

  - C2: Alle einzelnen Bedingungen größerer **BOOLEAN**-Ausdrückge sind zu testen.
    Beispiel: Die Bedingung `(a < b) & (b < c)` benötigt drei Testfälle: (1) `a < b`, `b < c`, (2) `a < b`, `b >= c`, (3) `a >= b`.

  - C7: Alle denkbaren Pfade sind zu testen. Dies ist jedoch nicht praktikabel für Schleifen und Programmtext, der mehr als nur ein paar Zeilen umfaßt.

Beispiel für White-Box-Tests

Sei folgende Spezifikation gegeben für einen Programmtext-Abschnitt, der Teil eines Bisektions-Algorithmus sein könnte, der Näherungen für $\frac{\pi}{2}$ berechnet:

- Eingabe-Parameter sind die Gleitkommazahlen a und b.
- Vertausche a und b, es sei denn $a \leq b$.
- Setze a und b zu den Werten 1 und 3, es sei denn $cos(a) >= 0$ und $cos(b) <= 0$.
- Setze x zum arithmetischen Mittel aus a und b.
- Setze a zu x, falls $cos(x) > 0$ und b zu x andernfalls.
- Gebe a und b aus.

Beispiel für White-Box-Tests

Pi2.om

```
PROCEDURE NextStep(VAR a, b: REAL);
   VAR
      x, tmp: REAL;
BEGIN
   IF a > b THEN
      tmp := b; b := a; a := tmp;
   END;
   IF (Math.Cos(a) < 0) & (Math.Cos(b) > 0) THEN
      a := 1; b := 3;
   END;
   x := (a + b) / 2;
   IF Math.Cos(x) > 0 THEN
      a := x;
   ELSE
      b := x;
   END;
END NextStep;
```

- Diese Implementierung enthält einen Mangel: In der zweiten **IF**-Anweisung wird `&` anstelle von **OR** verwendet.
- Um die Abdeckung der folgenden Testfälle zu analysieren, werden folgende Abkürzungen verwendet:

A	Vertauschungs-Anweisung innerhalb des ersten **IF**
B	wird anstelle von **A** angegeben, wenn nicht vertauscht wird
C	Programmtext, der a und b zu 1 und 3 setzt
D	**C** wird nicht ausgeführt
E	`a := x` innerhalb der letzten **IF**-Anweisung
F	`b := x` im **ELSE**-Teil der letzten **IF**-Anweisung

White-Box-Testfälle

Abdeckung	Eingabe	Abdeckung	Erwartet	Beobachtet
C0:	5,2	ACF (TT)	1,2	1,2
	8,6	ADE (FF)	7,8	7,8
C1:	2,5	BCF (TT)	1,2	1,2
C2:	4,4	BDF (TF)	4,4	1,2
	7,5	ADE (FT)	6,7	1,2
C7:	4,8	BDE (TF)	6,8	1,2
	9,7	ADF (FF)	7,8	7,8

- (TT), (FF), (FT) und (TF) spezifizieren die **BOOLEAN**-Werte der beiden Teilbedingungen in der mangelhaften zweiten **IF**-Anweisung.

- C0 versucht, alle Anweisungen abzudecken. Dabei werden nicht die leeren **ELSE**-Fälle berücksicht, d.h. B fällt hier weg.

- C1 fügt einen Testfall für B hinzu.

- C2 vervollständigt die Menge der möglichen **BOOLEAN**-Werte (soweit kamen nur (TT) und (FF) vor).

- C7 fügt BDE und ADF hinzu, die noch in der Menge der insgesamt sechs möglichen Pfade fehlten. Zu beachten ist hier, daß ACE und BCE unmöglich sind, da E nicht mehr erreicht werden kann, wenn C erreicht wurde.

Koroutinen

- Prozeduraufrufe werden mit Hilfe eines Stapels realisiert. Ganz oben auf dem Stapel sind die Parameter und lokalen Variablen der gerade aktiven Prozedur. Weiter unten im Stapel sind die Parameter und lokalen Variablen der aufrufenden Prozedur und die Rücksprungposition, an der das Programm fortgesetzt wird, wenn die aktuelle Prozedur beendet wird.

- Normalerweise wird nur ein Stapel verwendet.

- Wenn mehrere solcher Stapel gleichzeitig existieren können, wird von Koroutinen gesprochen.

- Jede Koroutine hat somit ihren eigenen Kontrollfluß durch das Programm.

- Zu jedem Zeitpunkt ist aber nur eine Koroutine aktiv.

- Es ist möglich, neue Koroutinen zu erzeugen und von einer Koroutine zu einer anderen zu wechseln.

- Der Vorteil von Koroutinen liegt darin, daß sich damit ineinander verzahnte Algorithmen trennen lassen, die sonst ineinander verwoben wären.

- Umgekehrt können Koroutinen auch sehr zur Unübersichtlichkeit beitragen. Dies wird normalerweise vermieden, indem die trickreichen Techniken hinter übersichtlichen Bibliotheksschnittstellen versteckt werden.

Grund-Operationen für Koroutinen

- Für Koroutinen gibt es den Datentyp **Coroutines.Coroutine**. Diese Datenstruktur besteht aus einem Stapel und die Position der nächsten auszuführenden Instruktion.

- Das Modul **Coroutines** stellt ferner die Variablen **Coroutines.current** und **Coroutines.source** zur Verfügung, die auf die derzeit aktive Koroutine und die davor aktive Koroutine verweisen.

- Im Modul **SYSTEM** gibt es die Operationen **CRSPAWN** und **CRSWITCH**.

- `PROCEDURE CRSPAWN(VAR cr: Coroutines.Coroutine);`
  erzeugt eine neue Koroutine, wobei der neue Koroutinen-Stapel zunächst nur aus den Parametern und lokalen Variablen der aufrufenden Prozedur besteht. Die nächste Instruktion der neuen Koroutine liegt unmittelbar hinter der **CRSPAWN**-Anweisung. Die alte (aufrufende) Koroutine beendet sofort die Ausführung der Prozedur, als ob **RETURN** aufgerufen worden wäre.

- Prozeduren, die sich zu neuen Koroutinen machen, müssen globale Prozeduren sein und dürfen keinen Rückgabewert haben. Ein **RETURN** der Koroutinen-Prozedur ist nach **CRSPAWN** nicht mehr zulässig, da es dafür keine Rückkehrposition mehr gibt.

- `PROCEDURE CRSWITCH(cr: Coroutines.Coroutine);`
  wechselt zu der angegebenen Koroutine. Die aufrufende Koroutine steht nach dem Wechsel unter **Coroutines.source** zur Verfügung.

Ein erstes Beispiel mit Koroutinen

HaTschi.om

```
MODULE HaTschi;

   IMPORT Coroutines, Random := RandomGenerators,
      SYS := SYSTEM, Write;

   PROCEDURE Ha(VAR ha, tschi: Coroutines.Coroutine);
   (* ... *)

   PROCEDURE Tschi(VAR ha, tschi: Coroutines.Coroutine);
   (* ... *)

   PROCEDURE DoIt;
      VAR
         ha, tschi: Coroutines.Coroutine;
   BEGIN
      Ha(ha, tschi);
      Tschi(ha, tschi);
      SYS.CRSWITCH(ha);
   END DoIt;

BEGIN
   DoIt;
END HaTschi.
```

- In diesem Beispiel sind drei Koroutinen aktiv: Zunächst die Koroutine, die zu Beginn loslegt (Haupt-Koroutine). Dann wird je von den Prozeduren **Ha** und **Tschi** eine Koroutine neu erzeugt.

Ein erstes Beispiel mit Koroutinen

HaTschi.om

```
PROCEDURE Ha(VAR ha, tschi: Coroutines.Coroutine);
BEGIN
   SYS.CRSPAWN(ha);
   LOOP
      REPEAT
         Write.String("Ha");
      UNTIL Random.Val(1, 5) = 1;
      SYS.CRSWITCH(tschi);
   END;
END Ha;
```

- Gleich zu Beginn des Aufrufes erzeugt die Prozedur **Ha** eine neue Koroutine. Über den Referenz-Parameter **ha** erhält der Aufrufer einen Verweis auf die neu geschaffene Koroutine.

- Der Referenz-Parameter **tschi** hat zunächst einen undefinierten Wert. Aber sobald die so referenzierte Variable beim Erzeugen der nächsten Koroutine durch **Tschi** einen Wert erhält, wird er hier zugänglich.

- Erst mit dem Aufruf `SYS.CRSWITCH(ha);` findet der erste Wechsel von der Haupt-Koroutine zur Koroutine **ha** statt. Diese beginnt dann ihre Ausführung ab dem **LOOP**, also unmittelbar hinter **SYS.CRSPAWN**.

Ein erstes Beispiel mit Koroutinen

HaTschi.om

```
PROCEDURE Tschi(VAR ha, tschi: Coroutines.Coroutine);
   VAR
      main: Coroutines.Coroutine;
      i: INTEGER;
BEGIN
   main := Coroutines.current;
   SYS.CRSPAWN(tschi);
   i := 0;
   WHILE i < 10 DO
      Write.Line("Tschi!");
      SYS.CRSWITCH(ha);
      INC(i);
   END;
   SYS.CRSWITCH(main);
END Tschi;
```

- Die Prozedur **Tschi** notiert sich zunächst einen Verweis auf die aktuelle Koroutine, wenn sie aufgerufen wird. Das erlaubt später die Rückkehr zur Haupt-Koroutine, sobald die beiden Koroutinen ihr Wechselspiel beendet haben.

- Danach wird mit `SYS.CRSPAWN(tschi);` die neue Koroutine erzeugt, die dann später erst aktiviert wird, wenn die Koroutine **ha** zum ersten Mal nach **tschi** wechselt.

- Nach 10 Wechseln endet das Spiel mit `SYS.CRSWITCH(main);`. Dann geht es bei der Hauptkoroutine unmittelbar hinter dem `SYS.CRSWITCH(ha);` in der Prozedur **DoIt** weiter.

Vor- und Nachteile soweit

- Die Koroutinen-Operationen **CRSPAWN** und **CRSWITCH** können nicht weiter vereinfacht werden.

- Alle lästigen Arbeiten werden im “Hintergrund” erledigt. So wird vollautomatisch der Speicherbereich für den Stapel organisiert. Ferner können die Stapel (soweit genügend Speicherplatz zur Verfügung steht) beliebig wachsen. Und zu guter Letzt werden nicht mehr erreichbare Koroutinen automatisch entsorgt.

- Dennoch sind Koroutinen bei direkter Verwendung sehr unübersichtlich, da

  - jeweils genau bekannt sein muß, zu welcher Koroutine zu wechseln ist und

  - das Beenden einer Koroutine nicht trivial ist, da ein einfaches **RETURN** unzulässig ist.

- Glücklicherweise gibt es freundlichere Schnittstellen, die auf Basis der Koroutinen-Operationen eingerichtet werden können und bei denen die Nachteile wegfallen.

Interne Pipelines

CrPipes.od

```
TYPE Filter = PROCEDURE (in, out: Streams.Stream);

PROCEDURE Open(VAR out, in: Streams.Stream;
               bufmode: Streams.BufMode);
PROCEDURE Spawn(filter: Filter; in, out: Streams.Stream);
```

- Das Modul **CrPipes** ermöglicht es, auf Basis von Koroutinen und Filtern interne Pipelines zu bauen.
- Ein Filter ist dabei eine Prozedur, die von einer Eingabe-Verbindung liest und die Eingabe nach Modifikationen wieder ausgibt.
- So sieht beispielsweise ein Filter aus, der sämtliche Kleinbuchstaben in Großbuchstaben verwandelt:

Filters.om

```
PROCEDURE UpperCase(in, out: Streams.Stream);
   VAR
      ch: CHAR;
BEGIN
   WHILE Streams.ReadByte(in, ch) DO
      IF (ch >= "a") & (ch <= "z") THEN
         ch := CAP(ch);
      END;
      IF ~Streams.WriteByte(out, ch) THEN
         RETURN
      END;
   END;
END UpperCase;
```

Einfügen eines Filters

Filters.om

```
PROCEDURE InstallInputFilter(filter: CrPipes.Filter);
   VAR
      out, in: Streams.Stream;
BEGIN
   CrPipes.Open(out, in, Streams.onebuf);
   CrPipes.Spawn(filter, Streams.stdin, out);
   Streams.stdin := in;
END InstallInputFilter;
```

- Mit **CrPipes.Open** wird eine neue Pipeline erzeugt. Ausgaben, die auf **out** erfolgen, können danach von **in** gelesen werden. Allerdings funktioniert dies hier nur dann, wenn der Schreiber und der Leser verschiedene Koroutinen sind.
- Mit **CrPipes.Spawn** wird eine neue Koroutine erzeugt, die später den angegebenen Filter verwenden wird. Hier wird der Filter von **Streams.stdin** lesen und in das schreibende Ende der zuvor erzeugten Pipeline schreiben.
- Danach wird **Streams.stdin** auf das lesende Ende der Pipeline gesetzt. Damit werden alle Eingaben von **Streams.stdin** implizit gefiltert.
- Bei der Verwendung von **CrPipes** sind keine Koroutinen-Operationen mehr zu sehen und die Filter-Prozeduren können auch ganz normal enden.

Trennung von Filtern und Verarbeitung

Filters.om

```
MODULE Filters;

   IMPORT Args := UnixArguments, CrPipes, Read, Streams, Write;

   PROCEDURE UpperCase(in, out: Streams.Stream);
   (* ... *)

   PROCEDURE RemoveEmptyLines(in, out: Streams.Stream);
   (* ... *)

   PROCEDURE ProcessArgs;
   (* ... *)

   PROCEDURE DoIt;
      VAR
         ok: BOOLEAN;
   BEGIN
      ok := Streams.Copy(Streams.stdin, Streams.stdout, -1);
   END DoIt;

BEGIN
   ProcessArgs;
   DoIt;
END Filters.
```

- **ProcessArgs** hat hier die Möglichkeit, beliebig viele Filter vor **Streams.stdin** einzufügen.
- Die Prozedur **Doit**, die hier die Verarbeitung übernimmt, bleibt hier völlig unabhängig von der Filterung der Eingabe.

Kombination von Filtern

Filters.om

```
PROCEDURE ProcessArgs;

   VAR
      flag: CHAR;

   PROCEDURE InstallInputFilter(filter: CrPipes.Filter);
   (* ... *)

BEGIN (* ProcessArgs *)
   Args.Init("[-e] [-u]");
   WHILE Args.GetFlag(flag) DO
      CASE flag OF
      | "e":   InstallInputFilter(RemoveEmptyLines);
      | "u":   InstallInputFilter(UpperCase);
      ELSE
         Args.Usage
      END;
   END;
   Args.AllArgs;
END ProcessArgs;
```

- Dabei können beliebig viele Filter hintereinander installiert werden.

Mehr Komfort bei interaktiven Programmen

- Bei verschiedenen Programmen (z.B. der bash) ist es möglich, frühere Eingaben wiederzuverwenden.
- Dies läßt sich auch über interne Filter auf Basis von **CrPipes** implementieren und hat dabei wieder den Vorteil, daß dieser Mechanismus sich völlig unabhängig von der späteren Verarbeitung programmieren läßt.
- Hier zahlen sich Koroutinen wirklich aus, da der Filter einen nicht-trivialen Status verwaltet.

Virtuelle Tour mit Historie

- Beim Übungsblatt 13 von Norbert Heidenbluth wurde ein Programm entwickelt, mit dem eine virtuelle Wanderung durchgeführt werden konnte.
- Hier wäre es sinnvoll, wenn bereits zuvor eingegebene Pfade erneut abgespielt werden könnten.
- Eingabesyntax:

`!a`	Markiere die aktuelle Position mit dem Buchstaben "a". Statt "a" sind auch andere Kleinbuchstaben zulässig.
`!ab`	Füge in die Eingabe den Weg ein, der zwischen den Markierungen "a" und "b" eingegeben worden ist.

Alle anderen Eingabe-Zeilen sollen unverändert weitergegeben werden.

Datenstruktur für die Historie

VirtualTour.om

```
CONST
   letters = ORD("z") - ORD("a") + 1;
VAR
   marks: ARRAY letters OF Streams.Count;
   history: Streams.Stream;
   line: ARRAY 512 OF CHAR;
```

- Alle Eingaben müssen bewahrt werden, damit sie später wieder eingefügt werden können.
- Dies geschieht über eine interne Datei aus dem Modul **Texts**. Auf diese wird über die Variable **history** zugegriffen, die vom Typ **Streams.Stream** ist.
- Das Array **marks** notiert die markierten Positionen, die sich alle auf **history** beziehen. Bei einer Eingabe von `!a` ist `marks[0]` auf die aktuelle Position von **history** zu setzen.
- Die Variable **line** dient als Puffer für die aktuelle Zeile.

Datenstruktur für die Historie

VirtualTour.om

```
PROCEDURE Init;
   VAR
      i: INTEGER;
BEGIN
   i := 0;
   WHILE i < letters DO
      marks[i] := -1;
      INC(i);
   END;
END Init;
```

- Zu Beginn werden alle denkbaren Markierungen mit -1 vor initialisiert.
- Sie werden erst benutzbar, wenn Sie mit einer (nicht-negativen) Position belegt werden.

Filter für die Historie

VirtualTour.om

```
PROCEDURE HistoryFilter(in, out: Streams.Stream);

   (* ... *)

   PROCEDURE ProcessCommand;
   (* ... *)

BEGIN (* HistoryFilter *)
   Init; Texts.Open(history);
   LOOP
      Read.LineS(in, line);
      IF in.count = 0 THEN
         EXIT
      END;
      IF (line[0] # "!") THEN
         Write.LineS(history, line);
         Write.LineS(out, line);
      ELSE
         ProcessCommand;
      END;
   END;
END HistoryFilter;
```

- Mit **Texts.Open** wird eine interne Datei zum Lesen und Schreiben eröffnet.
- Danach wird zeilenweise gelesen. Zeilen, die mit einem Ausrufe-Zeichen beginnen werden der Sonderbehandlung von **ProcessCommand** überlassen. Alle anderen Zeilen werden unverändert durchgereicht.

Filter für die Historie

VirtualTour.om

```
PROCEDURE ProcessCommand;
   VAR
      ch1, ch2: CHAR;
      index1, index2: INTEGER;
      currentPos: Streams.Count;
      len: Streams.Count; ok: BOOLEAN;
   (* ... *)
BEGIN (* ProcessCommand *)
   Streams.GetPos(history, currentPos);
   ch1 := line[1]; ch2 := line[2];
   IF (ch1 >= "a") & (ch1 <= "z") THEN
      index1 := ORD(ch1) - ORD("a");
      IF ch2 = 0X THEN
         marks[index1] := currentPos;
      ELSIF (ch2 >= "a") & (ch2 <= "z") THEN
         index2 := ORD(ch2) - ORD("a");
         IF (marks[index1] >= 0) &
               (marks[index2] > marks[index1]) THEN
            len := marks[index2] - marks[index1];
            Write.String("*** copying "); Write.Int(len, 1);
            Write.Line(" bytes from history:");
            Streams.SetPos(history, marks[index1]);
            ok := Streams.Copy(history, out, len);
            ASSERT(ok);
            Write.Line("*** copying finished");
            Streams.SetPos(history, currentPos);
         ELSE
            Write.Line("Invalid range!");
         END;
      ELSE Help;
      END;
   ELSE Help;
   END;
END ProcessCommand;
```

Zusammenfassung Koroutinen

- Koroutinen sind sinnvoll, wenn
  - es mehrere Aktivitäten gibt, die voneinander unabhängig programmiert werden sollen,
  - die jeweils einen eigenen Status verwalten und
  - die entweder unabhängig voneinander sind oder in der Rolle von Produzenten und Konsumenten miteinander kommunizieren können.
- Synchronisierung und Koroutinen-Verwaltung müssen dabei in entsprechende Module ausgelagert werden, da die direkte Verwendung zu unübersichtlich ist.
- Die Ulmer Oberon-Bibliothek bietet verallgemeinerte Synchronisierungsmechanismen und Verwaltungen an über die Module **Conditions**, **Tasks** und **Jobs**.
- Alternativen zu Koroutinen sind Continuations (Scheme) und Threads (parallel laufende Kontrollflüsse im gleichen Adreßraum). Continuations sind jedoch schwerer zu implementieren und Threads bringen ein hohes Fehlerrisiko mit sich.