Programmering i Pascal

Kurt Nørmark ©

Afdeling for Datalogi
Aalborg Universitet

1997

1. Maskiner, programmering og Internettet

Datalogikurset: Form og indhold.

Maskiner, operativsystem og DOS

Programmering og Turbo Pascal

Internet og Netscape

Kursusoversigt.

Formål:

- At give en grundlæggende introduktion til datamaskiners og programsystemers opbygning,
- at opøve en grundlæggende programmeringsfærdighed,
- at give en forståelse af datalogiske grundbegreber.

Indhold:

- Introduktion til maskine, programmering og Internettet.
- Introduktion til regneark.
- Basal programmering
- Abstraktion med procedurer og funktioner.
- Kontrolstrukturer.
- Procedurer og funktioner med parametre.
- Datatyper og filer.
- Datastrukturer: Arrays og records.
- Dataabstraktion.
- Rekursion.

Evaluering:

- Mundtlig eksamen på grundlag af et miniprojekt med karakter efter 13-skalaen.

Informationsteknologi: En fri studieaktivitet.

Formål:

- At orientere om og give færdighed i væsentlige nyere informationsteknologier på tværs af forskellige anvendelsesområder.
- At orientere om problemsløsnings- og informationssøgningsteknikker knyttet til disse teknologier.

Indhold:

- Netværk & Internet I: World Wide Web og HTML (8/10/97)
- Netværk & Internet II: Design og World Wide Web (15/10/97)
- Problemløsningsteknikker: Diagrammering (22/10/97)
- Databaser: Introduktion til relationsdatabaser (29/10/97)
- Datastrukturer og informationssøgning (5/11/97)

Omfang: 1 modul.

Evaluering:

- Aktiv deltagelse, herunder deltagelse i opgaveregning.

Forløbet af et minimodul.

Forløb af minimoduler	Formiddage	Eftermiddage
Forelæsning	8.15 - 10.00	12.30 - 14.15
Øvelser	10.15- 12.00	14.30 - 16.15

Øvelser: Opgaveløsning med kursusholder og hjælpelærere i grupperum.

Repetition: En forelæsning starter med en kort repetition af stoffet fra forrige lektion.

Kursusforudsætninger.

- Ingen forudsætninger i datalogi.
- Almene forudsætninger fra gymnasiet.

- I virkeligheden har studerende på den Teknisk Naturvidenskabelige Basisuddannelse meget blandede forudsætninger:
  - Datalogi i gymnasiet.
  - PC-freak.
  - Lejlighedsvis PC-bruger.
  - Har aldrig brugt en computer før.
  - Ved intet om computere.

Motivation.

Typiske anvendelser af computere

- Fleksibel skrivemaskine.
- Kraftig regnemaskine.
- Data administrationsmaskine (EDB-maskine).
- Kommunikationsmedium.

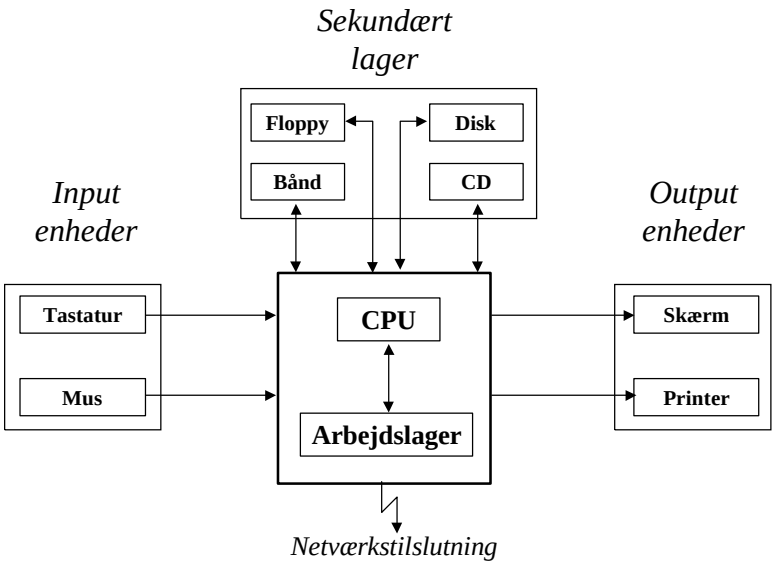
Observation

- Programmérbarhed er den unikke egenskab ved computere, som adskiller disse fra næsten alle andre apparater.

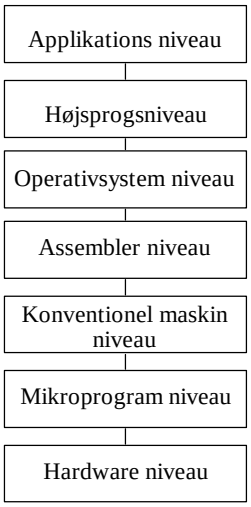
Motivation

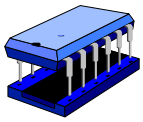
- Studerende i teknik eller naturvidenskab har brug for computere til *problemløsning*.
- *Programmeringsforståelse* er en vigtig forudsætning for generel problemløsning på computere.

Maskinens opbygning.



Den lagdelte maskine.

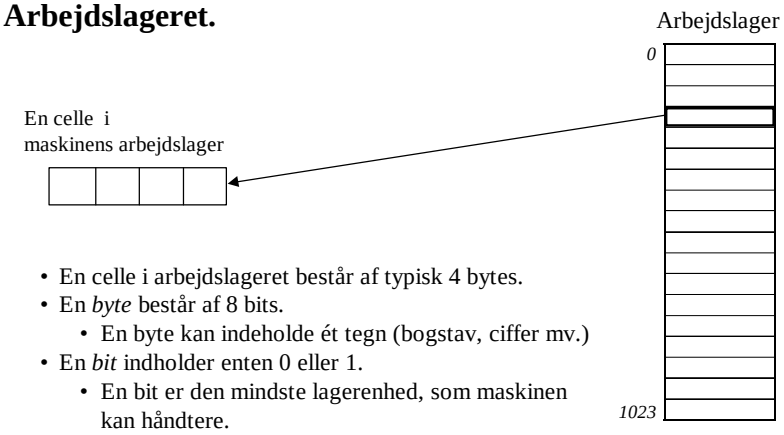




Operativsystemet.

- *Operativsystemet* er det niveau i maskinen, som administrerer maskinens forskellige ressourcer.
  - – Eksempler på ressourcer:
    - Harddisken og floppydisks.
      - Filer og kataloger.
    - Printeren og skærmen.
    - Tastaturet og musen.
  - Eksempler på operativsystemer:
    - DOS og UNIX
- Et operativsystem viser sig gennem et *kommandosprog*, som tillader os at operere på maskinens ressourcer.
- I moderne systemer er operativsystemets rolle overtaget af *vinduessystemet*.
  - Eksempler på vinduessystemer:
    - Windows95, Windows NT og OS2

Arbejdslageret.

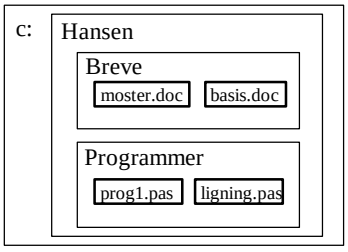


- En celle i arbejdslageret består af typisk 4 bytes.
- En *byte* består af 8 bits.
  - En byte kan indeholde ét tegn (bogstav, ciffer mv.)
- En *bit* indholder enten 0 eller 1.
  - En bit er den mindste lagerenhed, som maskinen kan håndtere.

Betydningen af lagerindholdet afhænger af programmernes fortolkning

Det sekundære lager.

- Det sekundære lager struktureres i
  - *Filer* (files)
    - Den enhed, hvori *programmer* og *data* opbevares af operativsystemet.
  - *Kataloger* (directories)
    - Et katalog indeholder filer og andre kataloger.
    - Kataloger tillader en hierarkisk organisering af programmer og data på de sekundære lagre.
  - *Drev*
    - Lager eller lagerdelen, hvori filer og kataloger befinder sig.



Navne af filer i kataloger:

- Fornavn: filens egentlige navn (*moster*)
- Efternavn: Angiver typisk filens type.
  - Kaldes ofte *fil-extension* (*doc*)
- Sti: Et navn som angiver filens placering i katalogerne (c:*Hansen**Breve**moster.doc*).

Kommandoer i DOS.

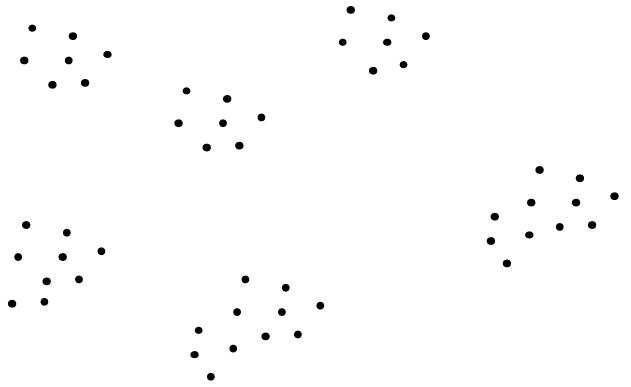
- Kataloger:
  - `cd` *katalog* — Skifter fra det nuværende katalog til *katalog*
  - `dir` — Udskriver filer og kataloger i det nuværende katalog
  - `mkdir` *katalog* — Laver nyt *katalog* i det nuværende katalog
  - `rmdir` *katalog* — Fjerner et eksisterende katalog fra nuværende katalog
  - Særlige kataloger — . = nuværende katalog .. = forældre katalog
- Filer
  - `type` *fil* — Udskriver *fil*'s indhold på skærmen
  - `print` *filnavn* — Udskriver *fil*'s indhold på en printer
  - `copy` *fil1 fil2* — Kopierer *fil1*'s indhold over i *fil2*
  - `move` *fil katalog* — Flytter en *fil* fra det nuværende katalog til *katalog*
  - `rename` *fil1 fil2* — Ændrer navnet af *fil1* til *fil2*.
  - `del` *fil*
- Drev
  - `format` *drev* — Forbereder *drev* på at kunne indholder filer og kataloger. Sletter alle eksiterende filer og kataloger på drevet. Eksempel: `format` a:

Programmering i Pascal.

- Dette kursus er baseret på programmeringssproget Pascal.
  - Pascal er et højniveau sprog, som er udviklet i '70erne specielt med henblik på undervisning i struktureret programmering.
  - Vi benytter Turbo Pascal 7.0 i DOS operativsystemet.
- Idag: Anvendelse af Turbo Pascal på allerede eksisterende programmer.
  - Start af Turbo Pascal.
  - Menuer og funktionstaster.
  - Muligheder for hjælp.
  - Indskrivning af et nyt program.
  - Oversættelse af et program.
  - Kørsel af et program.
  - Ændring af arbejdskatalog.
  - Lagring af et program.
  - Åbning af et eksisterende program.
  - Afslutning af Turbo Pascal.

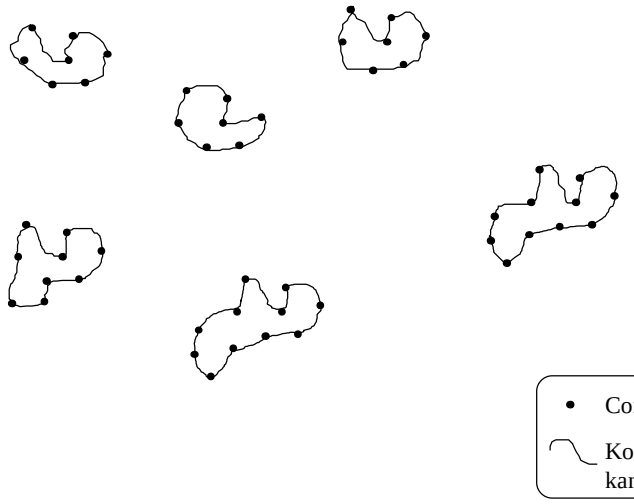
Maskine, net, Internet (1).

Verden består af isolerede computere.



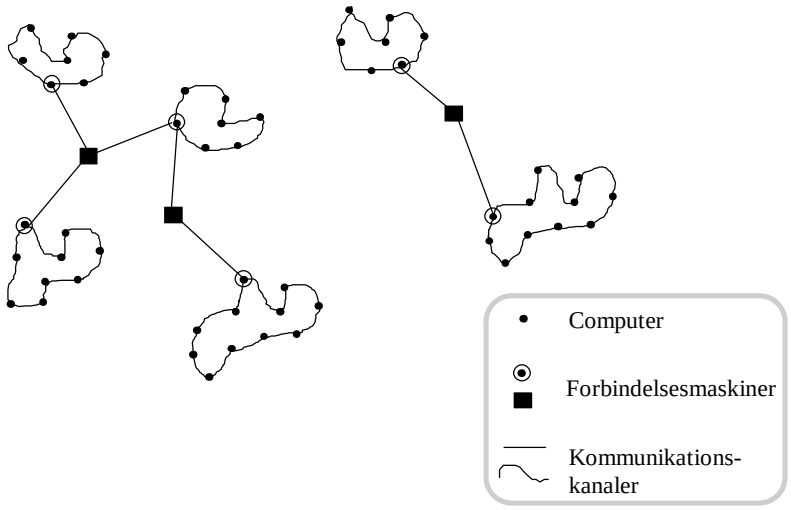
Maskine, net, Internet (2).

Computere tæt på hinanden knyttes sammen i lokale netværk.



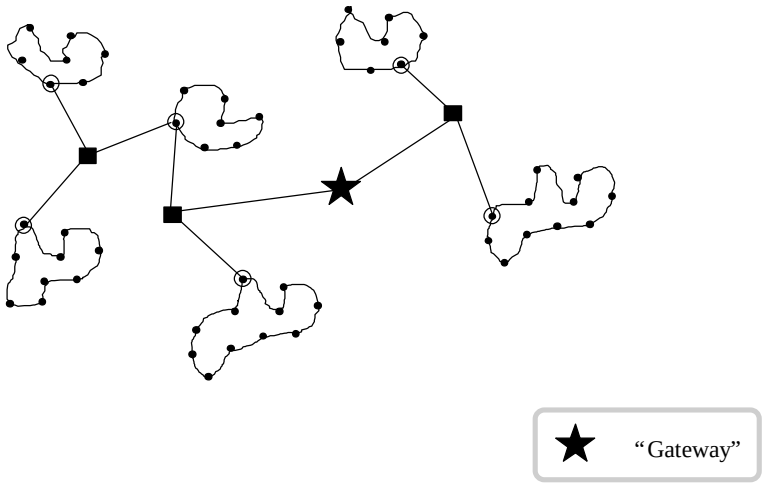
Maskine, net, Internet (3).

Lokale net knyttes sammen i lang-distance netværk.



Maskine, net, Internet (4).

Netværk kobles sammen i et globalt Internet.



World Wide Web.

- Den mest interessante del af Internettet hedder *World Wide Web* (WWW).
  - World Wide Web er et stort hypertekst/hypermedie netværk.
- *Hypertekst* er ikke-lineær tekst, som sammenkæder *knuder* med *links*.
- World Wide Web tilgåes via et værktøj, som kaldes en *browser*.
  - Eksempelvis: Mosaic, Netscape, Internet Navigator.
- Information om kurset i datalogi udsendes over World Wide Web.
  - Kursets hjemmeside: **http://www.cs.auc.dk/education/datbasis/**
  - Idag: Anvendelse af Netscape's browser.
  - Grundliggende navigering på WWW.
  - Baglæns og forlæns navigering samt "hjem".
  - Bogmærker.
  - Søgning - lokalt og globalt.
  - E-mail via Netscape.
  - Hvad er der bagved den pæne overflade?

2. Regneark.

Idéen bag regneark.
Regnearksbegreber.
Formler.
Eksempler.
    Karaktertabel.
    Lønregnskab.
Afhængigheder i regneark.
Udvikling af talrækker i regneark.
Arbejde med sandhedstabeller i regneark.
Selektive udtryk.

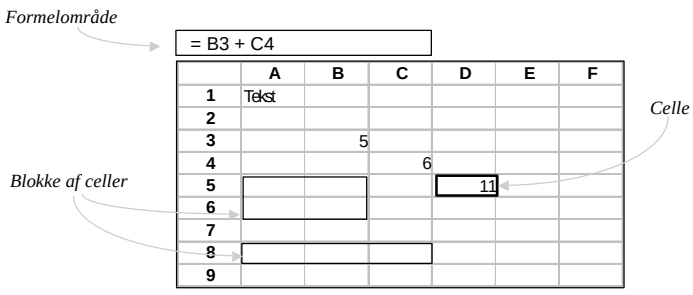
Regnearksidéen.

- I et regneark organiseres maskinens lager som en stor to-dimensional tabel (en matrix) af celler.
- Cellerne kan indeholde tekster, tal eller formler.
- På ethvert tidspunkt vises en del af tabellen på skærmen.
- Beregninger foretages via formler, som kan knyttes til tabellens celler.
- Tabellen holdes på ethvert tidspunkt konsistent og opdateret.

Regnearksbegreber.

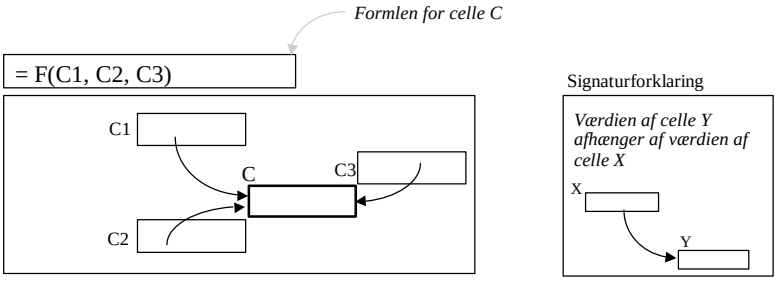
Celle

• Adresse	Hvor er cellen placeret i regnearket?
• Navn	Hvad er det logiske navn af cellen?
• Værdi	Hvilken værdi og datatype indeholder cellen?
• Formel	Hvordan beregnes cellens værdi ud fra andre værdier?
• Formatering.	Hvordan fremtræder cellens værdi på skærmen?



Formler.

- En formel kan knyttes til en celle i et regneark.
- En formel i cellen C angiver hvorledes C's værdi afhænger af andre cellers værdier.
  - C's værdi er en *funktion* F af andre cellers værdier.
- I det øjeblik en værdi i C1, C2, eller C3 ændres, udregnes en ny værdien af C ud fra formlen F.



Eksempel: Karaktertabel.

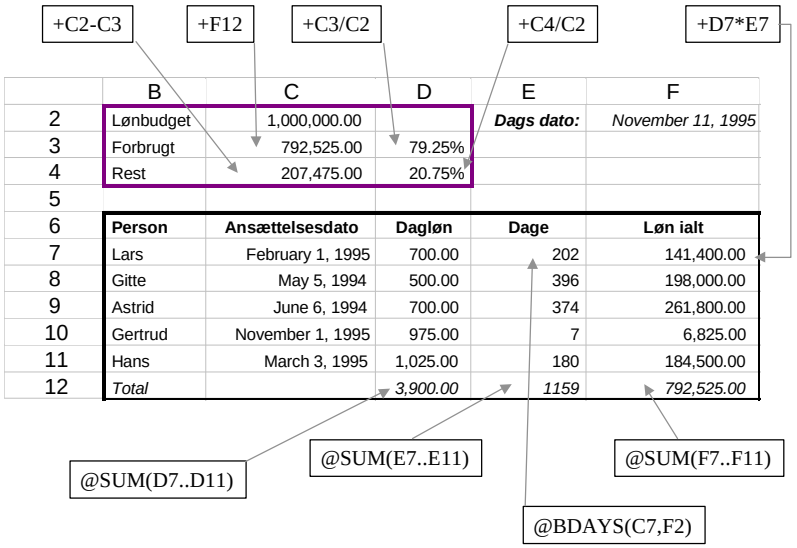
	B	C	D	E	F	G	H
3	Antal fag:	5					
4	Antal elever:	6					
5							
6							
7		**Dansk**	**Matematik**	**Fransk**	**Græsk**	**Historie**	***Gn. snit***
8	**Per**	6	8	7	11	6	*7.6*
9	**Hans**	5	9	3	11	8	*7.2*
10	**Pia**	3	10	6	7	7	*6.6*
11	**Poul**	5	7	8	3	5	*5.6*
12	**Arne**	13	6	11	10	3	*8.6*
13	**Frederik**	10	3	7	5	13	*7.6*
14	***Gn. snit***	*7.00*	*7.17*	*7.00*	*7.83*	*7.00*	*7.20*

@SUM(C8..C13)/C4 @SUM(C8..G13)/(C3*C4) @SUM(C8..G8)/C3

Alternativer:

- Navngiv celle C3 og C4 som hhv. 'antalfag' og 'antalelever'.
- Brug en gennemsnitsfunktion @AVG i stedet for @SUM.

Eksempel: Lønregnskab.



	B	C	D	E	F
2	Lønbudget	1,000,000.00		***Dags dato:***	*November 11, 1995*
3	Forbrugt	792,525.00	79.25%		
4	Rest	207,475.00	20.75%		
5					
6	**Person**	**Ansættelsesdato**	**Dagløn**	**Dage**	**Løn ialt**
7	Lars	February 1, 1995	700.00	202	141,400.00
8	Gitte	May 5, 1994	500.00	396	198,000.00
9	Astrid	June 6, 1994	700.00	374	261,800.00
10	Gertrud	November 1, 1995	975.00	7	6,825.00
11	Hans	March 3, 1995	1,025.00	180	184,500.00
12	*Total*		*3,900.00*	*1159*	*792,525.00*

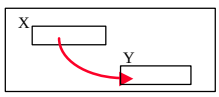
Afhængigheder i et regneark.

Afhængighederne mellem cellerne i et regneark kan anskueliggøres med en 'afhængighedsgraf'.

Cykliske afhængigheder kan ikke håndteres.

	B	C	D	E	F
2	Lønbudget	1,000,000.00		***Dags dato:***	*November 11, 1995*
3	Forbrugt	792,525.00	79.25%		
4	Rest	207,475.00	20.75%		
5					
6	**Person**	**Ansættelsesdato**	**Dagløn**	**Dage**	**Løn ialt**
7	Lars	February 1, 1995	700.00	202	141,400.00
8	Gitte	May 5, 1994	500.00	396	198,000.00
9	Astrid	June 6, 1994	700.00	374	261,800.00
10	Gertrud	November 1, 1995	975.00	7	6,825.00
11	Hans	March 3, 1995	1,025.00	180	184,500.00
12	*Total*		*3,900.00*	*1159*	*792,525.00*

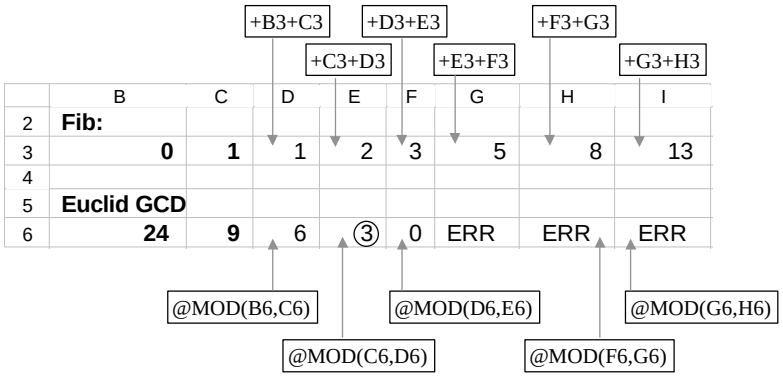
Værdien i celle Y afhænger af værdien i celle X



Udvikling af talrækker med regneark.

Via meget simpel formelkopiering kan det lade sig gøre af udvikle talrækker ala Fibonaccital og talrækken i Euclid's algoritme.

Forudsætningen for dette er at celle adresserne 'opfører sig relativt' under formelkopieringen.



Arbejde med sandhedstabeller i regneark.

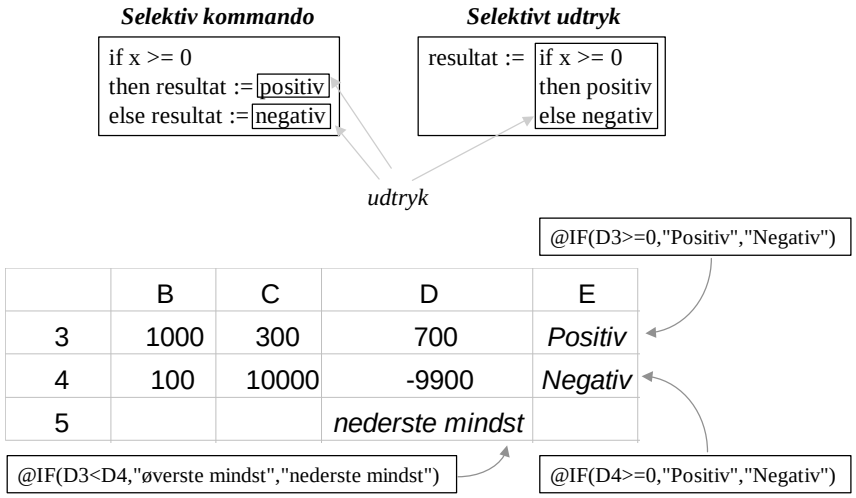
Ved brug af et regneark er det let at tabellægge funktioner med få elementer i definitionsmængden.

Bekræftelse på en af Demorgan's love:

not(a and b) = (not a) or (not b)

a	b	a and b	not a	not b	not(a and b)	(not a) or (not b)
0	0	0	1	1	1	1
0	1	0	1	0	1	1
1	0	0	0	1	1	1
1	1	1	0	0	0	0

Selektive udtryk.



3. Basal Programmering

Pascal: et højniveausprog.
Grundliggende elementer i Pascal
Basale datatyper
Variable og assignments
Indlæsning og udskrivning
Aritmetiske udtryk
Programkonventioner
Introduktion til 'udviklingsmetode'

Pascal: Et højniveau programmeringssprog.

- Et *højniveau programmeringssprog* som
  - understøtter *generel problemløsning* på en computer
  - tillader formulering af et program på programmøren's snarere end maskinens præmisser
  - kræver punktlig overholdelse af en række forskellige regler
- *Pascal* er et sprog fra 1970'erne udviklet i Schweiz af Niklaus Wirth.
  - populært til undervisning
  - anvendes også i praktisk programudvikling

Der findes mange forskellige slags programmeringssprog, som ofte opdeles i
- *Generationer* (1. - 5. generation)
- *Paradigmer*
  - Imperativ - Funktionsorienteret
  - Logik - Objekt-orienteret

Grundliggende elementer i et Pascal program.

```
program cirkel;
{Et program som beregner en cirkel's areal}
const pi = 3.14159;
var radius, areal: Real;
begin
  {Indlæsning af data}
  Writeln('Indtast cirklens radius:');
  Readln(radius);

  {Programmets beregningdel}
  areal := radius * radius * pi;

  {Udskrivning af resultatet}
  Writeln('Cirklen har følgende areal: ', areal:6:2)
end.
```

Programhoved og -navn

Kommentar

Erklæringsdel

Programkrop

Navne:
Reserverede ord:
- Eks.: begin og end

Navne (identifiers):
- Standardnavne
  - Eks.: writeln
- Brugerdefinerede
  - Eks.: radius

Oversigt over datatyper.

En datatype
- er en *mængde af værdier*.
- angiver en *fortolkning* af et lav-niveau bit-mønster
- er karakteriseret af en *mængde af operationer* på datatypens værdier

Datatyper i Pascal:
- Reelle tal: `Real`.
- Ordinal typer:
  - Heltal: `Integer`
  - Tegn: `Char`
  - Sandhedsværdier: `Boolean` (*true* og *false*)
- Sammensatte typer:
  - Tabeller: `Array`
    - Tekster: `String`
  - Poster: `Record`

Typen real.

Typen `real` repræsenterer udvalgte reelle tal i et nærmere bestemt interval.
Mange reelle tal har kun en tilnærmet repræsentation i typen Real.

- **Operationer**:
  - Fortegnsoperationer: `+` `-`
  - Aritmetiske operationer: `+` `-` `*` `/`

- **Notationer:**
  - Floating point (videnskabelig notation)
    fortegn heltalsdel **.** *brøkdel* **E** *exponentialdel*
    -3.456E2
  - Fix point
    fortegn heltalsdel **.** *brøkdel*
    -345.6

    Decimalpunkt er påkrævet.
    Mindst ét ciffer før og efter decimal punktet.

Typerne integer, char og boolean.

	Værdier	Typiske operationer
Integer	Alle heltal mellem -32768 og 32767	Fortegnsoperationer: + - Andre operationer: + - * div mod
Char	128 forskellige tegn, herunder små og store bogstaver samt cifre	
Boolean	*true* og *false*	Not and or

Værdierne i ovennævnte typer er ordnede indenbyrdes. Det er således meningsfuldt at tale om forgænger *pred(v)* og efterfølger *succ(v)* af en værdi v (pånær af yderværdierne).

Variable og assignment (1).

- En variabel er en *navngiven celle* i maskinens arbejdslager, som kan indeholde en *værdi* af en bestemt *type*.
  - Værdien af en variabel er udefineret indtil første værditilskrivning.
- Værdien af en variabel kan ændres ved udførelse af en *assignment kommando*.
  - En assignment kommando "tilskriver en værdi" til en variabel.

Eksempel:

```
Program VarEks1;
Var a, b, c:  Integer;
begin
  a := 5;  b:= 6;

  c := a;  a := b + c;  b := c
end.
```

	a:	b:	c:
Var a, b, c: Integer;	udefineret	udefineret	udefineret
a := 5; b:= 6;	5	6	udefineret
c := a; a := b + c; b := c	11	5	5

Variable og assignments (2).

Den generelle *form* (syntaks) af en assignmentkommando:

```
Variabel := Udtryk
```

Et udtryk er en formel, hvori der kan indgå operatorer og operander.

Betydning og *krav*:

- Udtrykket beregnes.
- Typen af udtrykket skal være den samme som typen af variablen.
  - Dog kan et heltal tilskrives til en reel variabel.
- Den hidtidige værdi af variablen overskrives af udtrykkets værdi.

Eksempel:

```
Program VarEks2;
Var  a: Integer;
     r: Real;
begin                  → a og r er udefinerede
  a := 3;              → a har værdien 3, r er udefineret
  a := a + 1;          → a er talt op med 1 og er nu 4
  r := sqrt(a)         → r er tilskrevet værdien af kvadratroden
end.                     af a, altså 2.0
```


Navngivne konstanter

En navngiven konstant refererer til en bestemt værdi gennem et navn.

Det er ikke muligt at ændre værdien af konstanten under udførelsen af programmet.

Navngivne konstanter øger programlæseligheden, og de gør det let at ændre værdien af sådanne *i forbindelse med programmodifikation.*

Eksempel på konstant erklæringer:

```
const pi = 3.1415927;
      MaxInt = 32767;
      FoersteBogstav = 'a';
      SidsteBogstav = 'å'
```

Indlæsning og udskrivning.

- **Write** er Pascal proceduren hvormed værdien af én eller flere udtryk kan udskrives som tekst på skærmen.
- **Read** er Pascal proceduren hvormed en eller flere værdier, angivet som tekst, kan indlæses i et antal programvariable.
- Der findes følgende varianter
  - **Writeln** som udskriver en eller flere værdier afsluttet med et linieskift.
  - **Readln** som læser en eller flere værdier til og med et linieskift.

```
var a, b, c: real;
begin
  a := 5; b := 6;
  writeln('Værdien af a, b og c er: ', a, b, c);
  writeln('Indlæs a og b på een linie');
  readln(a, b);
  writeln('tak');
  writeln('Indlæs nu c');
  read(c);
  writeln('Værdien af a, b og c er: ', a, b, c);
end.
```


Aritmetiske udtryk.

- Et aritmetisk udtryk består af *operatorer* og *operander*.
  - Eksempler

    (a + 5) * (b mod 3)

    3 - 4 - 5 * 6 div 7

    3.5 * 4 / 2
- Mulige operatorer:

  \+ - * / div mod
- Mulige operander:
  - Variable, konstanter og talværdier (literals).
- Typen af et aritmetisk udtryk:
  - Integer hvis alle operander er heltal og ingen operator er / (divisionstegn).
  - Real ellers.

Beregningsrækkefølge af deludtryk.

Problem: I hvilken rækkefølge beregnes deludtrykkene af et udtryk?
Løsning 1 (den simple):
- Alle deludtryk omkranses af parenteser.
- Udtryk beregnes "indefra og ud".

Løsning 2 (den komplicerede):
- Operatorer tildeles prioriteter.
- Deludtryk med højt-prioriterede operatorer beregnes før deludtryk med lavere prioriterede operatorer.
- Deludtryk med operatorer, der har samme prioritet, beregnes fra venstre mod højre.

Udtryk uden parenteser	Tilsvarende udtryk med parenteser
3 + 4 * 5	(3 + (4 * 5))
6 - 3 - 2	((6 - 3) - 2)
3 - 4 - 5 * 6 div 7	((3- 4) - ((5 * 6) div 7))

Operator prioriteter i Pascal.

Prioritet 5	( )	Parenteser
Prioritet 4	Not	Negation
Prioritet 3	* / Div Mod And	Multiplikative
Prioritet 2	+ - Or	Additive
Prioritet 1	= <> < <= > >=	Relationelle

- *Operatorer med det højeste prioritetstal anvendes først.*
- *Operatorer, der har samme prioritet, anvendes fra venstre mod højre.*

Eksempel:

x < y or x = y Meningsløst

(x < y) or (x = y) OK

Konventioner.

- Det er tilladt at have *ekstra mellemrum* mellem ord og symboler i et program.
- Det er tilladt at have *ekstra tomme liner* i et program.
- Det er tilladt at samle adskillige linier til én linie.
  - Hele programmet kan i princippet skrives på én lang linie.
- *Kommentarer* i { ... } eller (* ... *) kan optræde overalt i et program hvor der forekommer mellemrum.
- Der er ingen forskel på store og små bogstaver i navne og nøgleord.
- Anbefalinger:
  - Brug indrykning til at fremhæve programmets struktur.
  - Brug kommentarer til at forklare aspekter af et program, som ikke er umiddelbart forståelige for læseren.
  - Start altid programmet med en overordnet kommentar.
  - Vær konsekvent ved brug af små og store bogstaver i navne.

Hvordan udvikler man et program?
Software udviklingsmetode

- Når man udvikler software (et program) anbefales det at følge en bestemt *metode* (fremgangsmåde).
- Ofte opdeles det samlede arbejde med et program i en række *faser*, såsom:
  - Kravspecifikation
  - Problemanalyse
  - Design
  - Implementation
  - Aftestning
  - Vedligeholdelse
- Senere i kurset vil vi illustrere konkrete eksempler på disse faser.

4. Abstraktion med procedurer og funktioner

Ris à l'mande.
Eksempel på procedurer: Tændstikkvinde.
Programmering ved trinvis forfinelse.
Procedurebegrebet.
Programforløbet ved procedurekald.
Forfinet grafik.
Eksempel på funktioner: Temperaturomregning.
Funktionsbegrebet.
Fremblik: Det fulde procedure- og funktionsbegreb.

Ris à l'amande.

LAV EN PORTION RIS À L'AMANDE:
Smør en gryde med lidt margarine;
Bring 1 liter mælk i kog;
Tilsæt 110 gram grødris;
Kog det hele i 50 minutter;
Smag til med salt;
Afkøl grøden;
Tilsæt 1/2 dl Gammel Dansk;
Hæld 4 dl piskefløde i en skål;
Pisk i fløden indtil det bliver stift;
Vend skummet i grøden;
Afkøl desserten i 2 timer

Dette giver en vældig god ris à l'amande.

Men opskriften er dårlig struktureret.

Struktureret Ris à l'amande.

LAV EN PORTION RIS À L'AMANDE:
Lav en portion risengrød;
Afkøl grøden;
Tilsæt 1/2 dl Gammel Dansk;
Lav 1/2 liter flødeskum;
Vend skummet i grøden;
Afkøl desserten i 2 timer

▼

LAV EN PORTION RISENGRØD:
Smør en gryde med lidt margarine;
Bring 1 liter mælk i kog;
Tilsæt 110 gram grødris;
Kog det hele i 50 minutter;
Smag til med salt

▼

LAV 1/2 LITER FLØDESKUM
Hæld 4 dl piskefløde i en skål;
Pisk i fløden indtil det bliver stift

Ris à l'amande i Pascal.

```
Program RisALaMande;

  Procedure LavRisenGrød;
  begin
    ...
  end;

  Procedure LavFlødeskum;
  begin
    ...
  end;

begin
  LavRisenGrød;
  Afkøl grøden;
  Tilsæt 1/2 dl Gammel Dansk;
  LavFlødeskum;
  Vend skummet i grøden;
  Afkøl desserten i 2 timer
end.
```

Eksempel: Tegning af en tændstikkvinde med procedurer

Observation: Det er muligt at lave en række simple tegninger ved brug af et lille antal forskellige *geometriske primitiver*.

```
procedure TegnTaendstikKvinde;
begin
  TegnHoved;
  TegnArme;
  TegnKrop;
  TegnBen
end

begin {hovedprogram}
  ClrScr;
  TegnTaendstikKvinde;
  ReadKey
end.
```

```
procedure TegnHoved;
begin
  TegnCirkel
end
```

```
procedure TegnArme;
begin
  TegnVandretLinie
end
```

```
procedure TegnKrop;
begin
  TegnOmvendtV;
  TegnVandretLinie
end
```

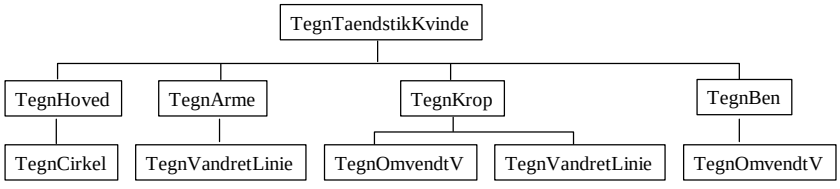
```
procedure TegnBen;
begin
  TegnOmvendtV
end
```


Eksempel: Geometriske primitiver.

```
procedure TegnCirkel;
begin
  WriteLn ('   *  ');
  WriteLn (' *   *');
  WriteLn ('  * * ')
end;
```

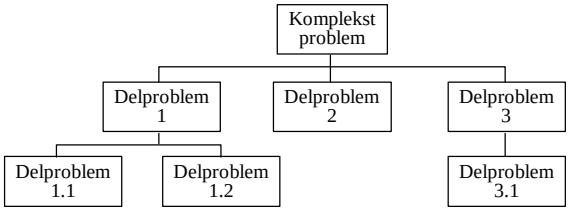
```
procedure TegnVandretLinie;
begin
  WriteLn ('-------')
end;
```

```
procedure TegnOmvendtV;
begin
  WriteLn ('  / \  ');
  WriteLn (' /   \ ');
  WriteLn ('/     \')
end;
```



Programudvikling ved trinvis forfinelse.

- *Komplekse problemer* kan ofte opdeles i *delproblemer*.
- Løsningerne på delproblemerne kan ofte *sammensættes* til en løsning af det oprindelige problem.



- I et program, som løser et komplekst problem, udformes løsningen på hvert problem og delproblem som en *proceduredefinition*.
- I kroppen af proceduren for et komplekst problem angives hvordan løsningerne for delproblemerne skal kombineres til en løsning af det komplekse problem.
- Proceduredefinitioner for delproblemer indlejres ofte som lokale procedurer i proceduredefinitionen for det komplekse problem.

Procedurer i forhold til et program.

```
program programnavn;
const nogle konstanter;
var nogle variable;
begin
  sekvens af kommandoer
end.
```

```
program programnavn;
const nogle konstanter;
var nogle variable

   procedure p1;
   begin ... end;

   procedure p2;
   begin ... end;

begin {hovedprogram}
  ...  P1;
  ..... P2;
  .... P1;
end.
```

- Procedurer kan opfattes som "programmer i programmer"
- Procedurer erklæres lige efter variabelerklæringer i hovedprogrammet.
- I Pascal skal procedurer erklæres før brug i programteksten.

Procedurebegrebet
(uden parametre).

Proceduredefinition:

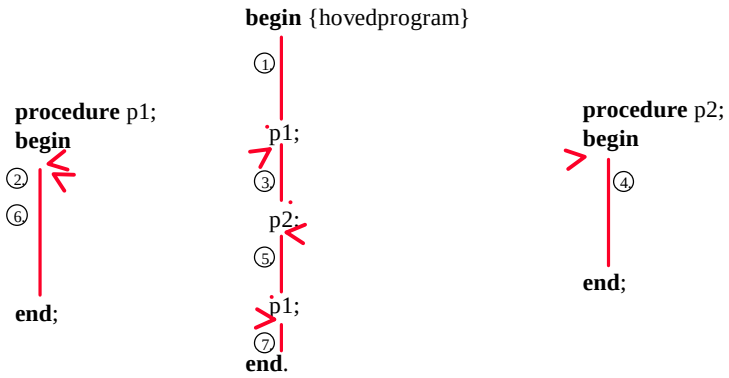
procedure *procedurenavn*;
begin
  kommando sekvens
end;

Procedurekald: En kommando

procedurenavn

- **Abstraktion**: En procedure er en abstraktion over en sekvens af kommandoer.
- **Genbrug**: En procedure indkapsler et antal kommandoer, som kan genbruges (kaldes) mange steder i et program.

Programforløbet ved procedurekald.



Eksempel: Forfinet grafik.

```
program grafikProgram;
uses graph; {benytter grafikbibliotek}
const Directory = 'c:\tp\bgi';
      {kataloget med grafik drivere}

var Driver, Mode: integer;
begin
 {opsætning af grafik:}
  initgraph(Driver, Mode, Directory);

  {Eksempel på kald af grafik procedurer:}
  Circle(cx, cy, radius);
  Line(x1, y1, x2, y2);
end.
```


Eksempel: Tændstikkvinde med forfinet grafik.

Vi udskifter nu tegneprimitiverne, således at vi opnår "ægte" grafik.
Vi er nødt til at bekymre os om den relative placering af legemsdele.

```
procedure TegnTaendstikKvinde;
begin
    TegnHoved;
    TegnArme;
    TegnKrop;
    TegnBen
end;


begin {hovedprogram}
  Initgraph(Driver, Mode, Directory);
  Clrscr;
  TegnTaendstikKvinde;
  ReadKey
end.
```

```
procedure TegnHoved;
begin
   TegnCirkel(100,100,30)
end;
```

```
procedure TegnArme;
begin
   TegnVandretLinie(25,130,150)
end;
```

```
procedure TegnKrop;
begin
   TegnOmvendtV(100,130,100,200);
   TegnVandretLinie(0,330,200)
end;
```

```
procedure TegnBen;
begin
   TegnOmvendtV(100,330,75,150)
end;
```

Eksempel: Geometriske primitiver med forfinet grafik.

```
procedure TegnCirkel(x_centrum, y_centrum ,radius: integer);
begin
    Circle(x_centrum, y_centrum, radius);
end;


procedure TegnVandretLinie(x_start, y_start, laengde: integer);
begin
    Line(x_start, y_start, x_start+laengde, y_start);
end;


procedure TegnOmvendtV(x_top, y_top, dx, dy: integer);
begin
    line(x_top, y_top, x_top-dx, y_top+dy);
    line(x_top, y_top, x_top+dx, y_top+dy)
end;
```


Eksempel: Temperaturomregning med funktioner

Definition af en funktion der omregner fahrenheit til celcius grader:

```
Function celciusGrader (fahrenheitTemperatur: Real): Real;
{Omregn en fahrenheit temperatur til celcius grader og returner resultatet}
begin
  celciusGrader := (5.0 / 9.0) * (fahrenheitTemperatur - 32.0)
end;
```

Anvendelse af funktionen i et hovedprogram:


```
var celciusTemperatur : Real;
begin {hovedprogram}
  celciusTemperatur := celciusGrader(32.0);
  writeln('Det er koldt: ', celciusTemperatur:5:2 );
  writeln('Det er varmt: ', celciusGrader(102.0):5:2)
end.
```

Funktionsbegrebet
(med parametre).

Funktionsdefinition:

function *funktionsnavn(parametre)*: *returværdi-type*;
begin
  funktionsnavn := *udtryk*
end;

Funktionskald: Et udtryk

funktionsnavn(parametre)

- **Abstraktion**:
  - En funktion er en abstraktion over et udtryk.
  - I Pascal kan en funktion dog udføre kommandoer, blot skal der returneres en værdi (ved et assignment til funktionsnavnet).
- **Genbrug**:
  - En funktion indkapsler et udtryk, som kan genbruges (kaldes) mange steder i et program.

Fremblik mod det fulde procedure- og funktionsbegreb.

Procedurer og funktioner
- kan *generaliseres* med parametre.
  - værdi- og variableparametre.
- kan have lokale variable.
- kan have lokale procedurer og funktioner.

procedure *procedurenavn*
(*formelle-parametre*);
var *lokale variable*;
lokale procedure og funktioner;
begin
  kommando sekvens
end;

function *funktionsnavn*
(*formelle-parametre*): *Værditype*
var *lokale variable*;
lokale procedure og funktioner;
begin
  kommando sekvens;
  funktionsnavn **:=** *udtryk*
end;

Mere om dette i lektion 6

5. Kontrolstrukturer.

Primitive kontrolstrukturer med hop.
Logiske udtryk.
Udvælgelse.
    If og case.
Gentagelse.
    While- og for-løkker
Eksempel: Rodsøgning.
Repeat løkker.

Motivation: Primitive kontrolstrukturer med hop.

En goto kommando tillader os at hoppe fra et sted i et program til et andet, markeret sted i samme program.

Programmer med goto kommandoer kan være meget vanskelige at forstå.

Det anbefales at undgå brug af goto kommandoer i normale programmeringssituationer.

Goto kommandoer er kun acceptable i undtagelsessituationer, eksempelvis hvis man ønsker at hoppe ud af programmet eller ud af en dyb løkke.

```
if x <= y then goto 1;
pos := 1;
res := x;
goto 2;
1: pos := 2;
res := y;
2:  {næste kommando}
```

Oversigt.

- **Sekventiel rækkefølge**
  - Kommandoer følger efter hinanden i en bestemt rækkefølge.
- **Sammensætning**
  - Et antal kommandoer sammensættes til én enkelt kommando.
- **Udvælgelse**
  - Én kommando udvælges blandt flere mulige. Udvælgelsen foretages typisk ud fra værdien af et logisk udtryk.
- **Gentagelse**
  - En kommando gentages et antal gange. Antallet af gentagelser styres typisk af et logisk udtryk.

kommando1 **;**
kommando2

begin
kommando1;
kommando2
end

if *logiskUdtryk*
then *kommando1*
else *kommando2*

while *logiskUdtryk*
do *kommando*

Logiske udtryk (boolske udtryk).

Et logisk udtryk beregnes til en værdi af datatypen Boolean.
Datatypen boolean indholder værdierne *true* og *false*.

Eksempler på logiske udtryk:

n = 5

n >= 5

n <> 5

(n >= 5) **and** (n < 10)

not ((n >= 5) **and** (n < 10))

(n < 5) **or** (n >= 10)

Eksemplerne i en sammenhæng:

```
program logik;
var n: integer;
    b: boolean;
begin
  n := 6;
  writeln(n=5);
  if n>= 5 then writeln('stor') else writeln('lille');
  b := n <> 5; writeln(b);
  while (n >= 5) and (n < 10) do n := n + 1;
  if not ((n >= 5) and (n < 10)) =
    (n < 5) or (n >= 10)
  then writeln('OK')
  else writeln('Problemer');
end.
```

De logiske operatorer.

Idet der kun er to værdier i datatypen Boolean er det let at tabellægge de boolske operatorer **and**, **or** og **not**.

AND

A	B	A and B
true	*true*	*true*
true	*false*	*false*
false	*true*	*false*
false	*false*	*false*

OR

A	B	A or B
true	*true*	*true*
true	*false*	*true*
false	*true*	*true*
false	*false*	*false*

NOT

A	not A
true	*false*
false	*true*

Prioriteter:

Prioritet 5	( )
Prioritet 4	**Not**
Prioritet 3	* / Div Mod **And**
Prioritet 2	+ - **Or**
Prioritet 1	= <> < <= > >=

Kontrolstrukturer til udvælgelse (1).

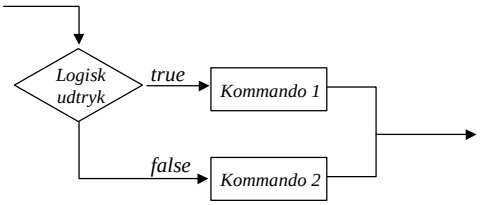
En *selektiv kontrolstruktur* udvælger én kommando til udførelse fra en mængde af muligheder.

Grundform

if *logiskUdtryk*
then *kommando*$_1$
else *kommando*$_2$

Betydning

Først beregnes logiskUdtryk.
Hvis værdien er sand udføres kommando 1.
Ellers udføres kommando 2.



if *logiskUdtryk*
then *kommando*

⟷

if *logiskUdtryk*
then *kommando*
else (* tom kommando *)

Kontrolstrukturer til udvælgelse (2).

Grundform	Betydning

case *udtryk* **of**
  constant$_1$: *kommando*$_1$ **;**
  ...
  constant$_n$: *kommando*$_n$
else
  default-kommando
end
	Først beregnes udtryk. Udtrykket skal være af en ordinaltype.
	Hvis værdien af udtrykket er én af konstanterne constant1 .. constantn udføres den tilsvarende kommando, hvorefter case-strukturen afsluttes.
	Ellers udføres default-kommando.

Det er muligt at sammentrække en række tilfælde i en case kontrolstruktur til ét tilfælde.

```
case n of
  2, 4:  writeln('To eller fire');
  5 .. 7: writeln('Mellem fem og syv')
else
  writeln('Noget andet')
end
```

```
case n of
  2: writeln('To eller fire');
  4: writeln('To eller fire');
  5: writeln('Mellem fem og syv');
  6: writeln('Mellem fem og syv');
  7: writeln('Mellem fem og syv')
else
  writeln('Noget andet')
end
```


Eksempler på udvælgelse.

En funktion der beregner det største af to tal:

```
function maks(x, y: Real): Real;
begin
  if x > y then maks := x else maks := y
end;
```

En funktion der returnerer antallet af dage i en måned:

```
function antalDageIMåned(månedNr: Integer;
                         skudÅr: Boolean): Integer;
begin
  case månedNr of
    1, 3, 5, 7, 8,10, 12:  antalDageIMåned := 31;
    4, 6, 9, 11:           antalDageIMåned := 30
    2:  if skudÅr
        then               antalDageIMåned := 29
        else               antalDageIMåned := 28
    else  Halt
  end
end;
```

Eksempel der modsvarer goto-eksemplet

```
if x > y
then begin
        pos := 1;
        res := x
     end
else begin
        pos := 2;
        res := y
     end
```

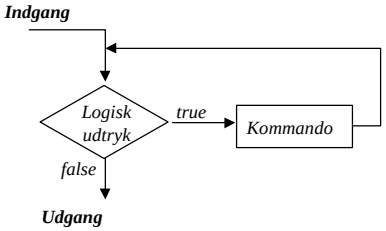
```
if x <= y then goto 1;
pos := 1;
res := x;
goto 2;
1: pos := 2;
res := y;
2:  {næste kommando}
```

Kontrolstrukturer til gentagelse: While løkker.

I en *løkke* er det muligt at gentage en kommando nul, én eller flere gange.

I en while-løkke er det i udgangspunktet ubestemt hvormange gange kommandoen gentages.

Form	Betydning
while *logiskUdtryk* **do** *kommando*	*Gentag kommando 0, 1 eller flere gange.* *Udregn og test det logiske udtryk før hver gentagelse.* *Afbryd løkken første gang det logiske udtryk bliver falsk.*



For at sikre, at løkken standser, er det vigtigt at kommandoen i løkken ændrer på de variable, som indgår i løkkens logiske udtryk

Eksempel på brug af while-løkke (1).

- Beregning af den største fælles divisor af to heltal ved Euclid's metode.
- Et eksempel en 'hændelseskontrolleret løkke'.

```
function gcd(Input1, Input2: Integer): Integer;
var Stor, Lille, Rest: Integer;
begin
  Stor := Input1;  Lille := Input2;
  while Lille > 0
  do begin
          Rest := Stor mod Lille;
          Stor := Lille;
          Lille := Rest
       end;
  gcd := Stor
end;
```

Eksempel på brug af while-løkke (2).

```
program SumScores;
const
   Sentinel = -1;      {sentinel value. På dansk: en vagt}
var
   Score,              {input - each exam score}
   Sum : Integer;      {output - sum of scores}
begin {SumScores}
   {Accumulate the sum.}
   Sum := 0;
   WriteLn ('When done, enter -1 to stop.');
   Write ('Enter the first score> ');
   ReadLn (Score);
   while Score <> Sentinel do
    begin
       Sum := Sum + Score;
       Write ('Enter the next score> ');
       ReadLn (Score)
    end; {while}

   {Display the sum.}
   WriteLn;
   WriteLn ('Sum of exam scores is ', Sum :1)
end. {SumScores}
```


Kontrolstrukturer til gentagelse: For-løkker.

I en for-løkke gentages en kommando et antal gange, som bestemmes forud for første gentagelse.

Form	Betydning
for *var* := *første* **to** *sidste* **do** *kommando*	*Gentag kommandoen for var = first, succ(first), ..., last.* *Afbryd løkken når kommandoen er udført for i = last.*

- *første* og *sidste* er udtryk hvis værdier skal tilhøre samme ordinaltype.
  - En ordinaltype er en type, hvor det giver mening at tale om næste og foregående værdi.
- Variablen *var* må ikke ændres i kommandoen.
- Det er ikke muligt at ændre på udtrykket *sidste* i kommandoen med det formål at ændre på antallet af gentagelser i løkken.

Eksempler på brug af for-løkker.

- Udskriv en tabel over *i*, i^2 og kvadratroden af *i*, for *i* løbende fra *1* til *10*.
- En tæller-kontrolleret løkke.

```
for i:= 1 to 10 do
writeln(i,  i*i,  sqrt(i));
```

- Udskriv de fire mulige logiske kombinationer af udtrykket:
  not b **or** c

```
for b := false to true do
   for c := false to true do
     writeln(b, ' ', c, ' ', not b or c)
```

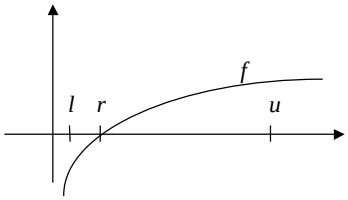
Hvornår bruges for-løkker:

- Når man på forhånd kender antallet af gentagelser, som der er behov for.
- Det er let at lave fejl ved første og sidste gentagelse i en while løkke.
  - Brug derfor for-løkker når det er muligt!

Eksempel: Søgning efter en rod i en kontinuert funktion (1).

Analyse:

Enhver kontinuert funktion *f*, som har negativ værdi i *l* og positiv værdi i *u* (eller omvendt) vil have mindst én rod mellem *l* og *u*.



Input:
En Pascal funktion *f*.
Intervallet *l* og *u*, hvor *l* <= *u*.
l og *u* er reelle tal (reals).

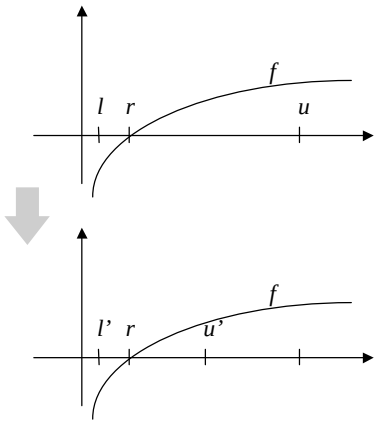
Forudsætninger:
Funktionen *f* har forskellig fortegn i *l* og *u*.
Funktionen er kontinuert.

Output:
En værdi *r* hvorom der gælder, at *f*(*r*) = 0.
l <= *r* <= *u*.

Eksempel: Søgning efter en rod i en kontinuert funktion (2).

Design:

Idéen i algoritmen er at indsnævre intervallet omkring den rod, vi ved der eksisterer mellem *l* og *u*. I hvert gennemløb af en løkke halverer vi intervallet, hvori vi med sikkerhed ved, at roden befinder sig. På et tidspunkt bliver *l* og *u* sammenfaldende.



Eksempel: Søgning efter en rod i en kontinuert funktion (3).

```
function find_rod_mellem(l, u: real): real;
{Forudsæt: f(l) og f(u) har forskellig fortegn, f kontinuert og l < u. }
begin
  while not ( f(midtpunkt(l,u)) = 0 )
  do begin
        if samme_fortegn(f(midtpunkt(l, u)), f(u))
        then u := midtpunkt(l,u)
        else l := midtpunkt(l,u);
       end;
  find_rod_mellem := midtpunkt(l,u);
end;
```

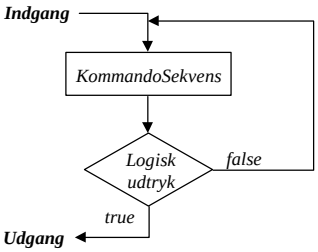
```
function midtpunkt(x,y: real): real;
{ beregn og returner tallet midt mellem
   x og y. Forudsæt at x er mindre end y }
begin
  midtpunkt := x + (y - x)/2;
end;
```

```
function samme_fortegn(x,y: real): boolean;
{returner hvorvidt x og y har samme fortegn }
begin
  samme_fortegn := ((x * y) > 0);
end;
```

Kontrolstrukturer til gentagelse: Repeat-løkker.

En repeat-løkke er et alternativ til en while-løkke.
En repeat kontrolstruktur sikrer altid mindst et gennemløb af løkken.

Form	Betydning
repeat *kommandoSekvens* **until** *logiskUdtryk*	*Gentag kommandoSekvens 1 eller flere gange.* *Udregn og test det logiske udtryk efter hver gentagelse.* *Afbryd løkken første gang boolean-expression bliver sand.*



- Det logiske udtryk i en repeat kontrolstruktur er en *afslutningsbetingelse*.
- Det logiske udtryk i en while kontrolstruktur er en *fortsættelsesbetingelse.*

Eksempel på brug af repeat-løkke.

Spørg brugeren: ja eller nej

```
var svar: Char;
...

repeat
  writeln('Svar ja eller nej (j/n)');
  readln(svar)
until (svar = 'j') or (svar = 'n')
```

Konvertering af for- og repeat-løkker til while.

Ethvert program med 'for' og 'repeat' kontrolstrukturer kan skrives om til et program med 'while'.

```
repeat
  kommandoSekvens
until logiskUdtryk
```

```
begin
  kommandoSekvens
end;
while not logiskUdtryk
do  begin
        kommandoSekvens
    end
```

```
for var := first to last do
kommando
```

```
var := first;
while var <= last
do begin
      kommando;
      var := succ(var)
   end
```


6. Procedurer og funktioner med parametre.

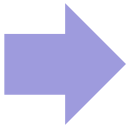
Resumé af procedurebegrebet.
Motivation for parametre til procedurer.
Værdiparametre.
Variabelparametre.
Lokale variable.
Indlejrede procedurer.
Scopebegrebet.
Funktioner.

Resumé af procedurebegrebet.

- En procedure er en *abstraktion* over en sekvens af kommandoer.
  - Proceduren indkapsler en mængde detaljerede kommandoer, som efter proceduredefinitionen kan refereres gennem proceduren's navn.
- En procedure *defineres* i erklæringsdelen af et program.
- En procedure kan opfattes som et "program i programmet": Et *subprogram*.
- Et procedure kaldes i kroppen af et program eller i kroppen af en anden procedure.
  - Et procedurekald er en kommando.
  - Et procedurekald kan optræde alle de steder hvor kommandoer er tilladt.
  - En procedure skal defineres før den kan kaldes.
  - En procedure kan kaldes mange gange.
    - Med et procedurekald slipper vi for at gentage detaljerne i kroppen for hvert kald.

Eksempel: En procedure med værdiparametre.

```
writeln('Peter Madsen');
writeln('Badehusvej 13');
writeln('Storgruppe 31');
writeln('9000 Aalborg C');
writeln;

writeln('Mads Petersen');
writeln('Badehusvej 13');
writeln('Storgruppe 33');
writeln('9000 Aalborg C');
writeln;
```



```
SkrivAdresse('Peter Madsen', 31);

SkrivAdresse('Mads Petersen', 33);
```

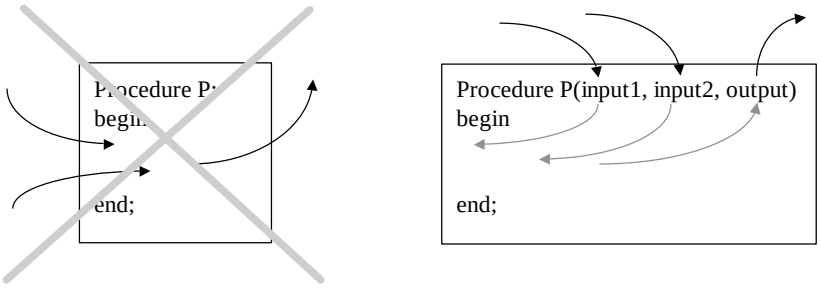
```
procedure SkrivAdresse(Navn: String; Storgruppe: Integer);
begin
  writeln(Navn);
  writeln('Badehusvej 13');
  write('Storgruppe '); writeln(Storgruppe: 2);
  writeln('9000 Aalborg C');
end;
```

Motivation: Hvorfor interessere sig for parametre?

De kommandoer, som indkapsles i en procedurer, bliver *mere generelt anvendelige* hvis vi kan overføre input til dem og output fra dem.

Parametrene udgør *grænsefladen* (interfacet) mellem en procedure og dens omverden (hovedprogrammet og andre procedurer).

- Alle *databevægelser* mellem en procedure og omverdenen bør foregå *gennem parametre*.



Overførsel af værdiparametre (1).

c og i er *formelle værdiparametre*

```
Procedure P(c: char;  i: integer);
begin
  {Udfør kommandoer som
   anvender c og i som input}
end;
```

```
var j: integer;
    tegn: char;
...
begin
  j := 2; tegn := 'a';
  P(tegn, j + 3);
end
```

Udtrykkene 'a' og j+3 er *aktuelle parametre*

```
Procedure P(c: char;  i: integer); {procedure krop}
```

Værdien af de aktuelle parameterudtryk *overføres* til de tilsvarende formelle parametre

```
P(tegn, j + 3);
```

Overførsel af værdiparametre (2).

```
Procedure P (c: char;  i: integer);
begin
  {Udfør kommandoer som
   anvender c og i som input}
end;
```

```
var j: integer;
    tegn: char;
...
begin
  j := 2; tegn := 'a';
  P(tegn, j + 3);
end
```

Umiddelbart efter overførslen af parametrene:

Globale variable		*Parametre i P*	
j:	2 (Integer)	c:	'a' (Char)
tegn:	'a' (Char)	i:	5 (Integer)

Regler for overførsel af værdiparametre.

Procedure P(fp_1: T_1; fp_2: T_2; ... ; fp_n: T_n);
begin
  ...
end;
	P(ap_1, ap_2, ..., ap_n)

- *Værdierne* af de aktuelle parametre beregnes. Hver aktuel parameter er et *udtryk*.
- Første aktuelle parameter overføres til første formelle parameter, anden aktuelle parameter overføres til anden formelle parameter, osv.
- Antallet af aktuelle parametre skal være lig med antallet af formelle parametre.
- Værdien af en aktuel parameter skal kunne assignes til den tilsvarende formelle parameter.
- Procedurens krop udføres.
  - Et assignment til en formel parameter er lovlig, men ændrer aldrig på den tilsvarende aktuelle parameter.
  - Det er dårlig stil at lave assignments til værdiparametre.

Lokale variable.

- Variable i hovedprogrammet kaldes *globale variable*.
- Variable i en procedure kaldes *lokale variable*.
  - En lokal variabel oprettes umiddelbart efter et procedurekald og nedlægges når proceduren er færdig.

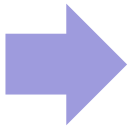
```
Program gennemsnitsProgram;
  var x, y: integer;

  Procedure printGennemsnit(a, b, c: integer);
    var sum: integer;
        gnSnit: Real;
  begin
     sum := a + b + c;  gnSnit := sum/3;
     writeln('Gennemsnittet er: ', gnSnit )
  end;

begin
   x := 5; y := 7;
   printGennemsnit(x, 6, y);
   printGennemsnit(y, 8, 9)
end.
```

Globale variable.

Lokale variable i proceduren printGennemsnit

Eksempel: Procedure med variabelparametre.

```
tmp := x;
x := y;
y := tmp;
...
ttt := a;
a := x;
x := ttt;
...
temp := første;
første := anden;
anden := temp;
```



```
ombyt(x,y);
...

ombyt(a, x);

...
ombyt(første, anden);

...
```

```
Procedure ombyt(Var x, y: Real);
{Ombyt værdierne af variablene x og y}
  var temp: Real;
begin
  temp := x;  x := y;  y := temp
end;
```

Overførsel af variabelparametre (1).

c og i er *formelle variabelparametre*

```
Procedure P(var c: char;  var i: integer);
begin
  {Udfør kommandoer der anvender
   c og i som input og/eller output}
end;
```

```
var tegn: char;
    tal: integer;
...
begin
  tegn := 'g';
  P(tegn, tal);
end
```

variablene tegn og tal er *aktuelle parametre*

Procedure P(var c: char; var i: integer); {procedure krop}

P(tegn, tal);

De aktuelle parametre *overføres* til de tilsvarende formelle variabelparametre.

c er et *alias* for tegn.
i er et *alias* for tal.

Overførsel af variabelparametre (2).

```
Procedure P(var c: char;  var i: integer);
begin
  c := succ(c);
  i := 5
end;
```

```
var tegn: char;
    tal: integer;
...
begin
  tegn := 'g';
  P(tegn, tal);
end
```

Umiddelbart efter overførslen af parametrene:

Globale variable *Parametre i P*

tegn: 'g' (Char) c: (Char)

tal: *udefineret* (Integer) i: (Integer)

Efter returnering af P:

Globale variable

tegn: 'h' (Char)

tal: 5 (Integer)

Regler for overførsel af variabelparametre.

Procedure P(var fp_1: T_1; var fp_2: T_2; ... ; var fp_n: T_n);
begin
  ...
end;
	P(ap_1, ap_2, ..., ap_n)

- Hver aktuel parameter skal være en *variabel*.
- Første aktuelle parameter overføres til første formelle parameter, anden aktuelle parameter overføres til anden formelle parameter, osv.
- Antallet af aktuelle parametre skal være lig med antallet af formelle parametre.
- Typen af en aktuel parameter skal være identisk med typen af den tilsvarende formelle parameter.
- Procedurens krop udføres.
  - I kroppen er det formelle parameternavn fp_i et *alternativt navn* (et alias) for den tilsvarende aktuelle variabelparameter ap_i.
  - Et assignment til fp_i udgør et assignment til ap_i.

Eksempel: Løsning af en andengradsligning.

```
procedure LoesAndengradsLigning(a,b,c: Real; {input}
                                var AntalLoesninger: Integer; {output}
                                var loes1, loes2: Real  {output});
var determinant: Real;
begin
  determinant := b*b-4*a*c;
  if determinant < 0
  then AntalLoesninger := 0
  else if determinant = 0
  then begin
         AntalLoesninger := 1;
         loes1 := -b/(2*a)
       end
  else begin
         AntalLoesninger := 2;
         loes1 := (-b + sqrt(determinant))/(2*a);
         loes2 := (-b - sqrt(determinant))/(2*a)
       end
end;
```

Eksempel: Sortering af tre tal.

```
program Sorter3;
  var Num1, Num2, Num3 : Real;

  procedure Ombyt(var X,Y {input/output} : Real); { ... }

  procedure Order (var X, Y {input/output} : Real);
  {Pre : X and Y er tilskrevet værdier.
    Post: X er det mindste af de to tal, og Y det største.}
  var Temp : Real;
  begin
     if X > Y then
     Ombyt(X,Y)
  end;  {Order}

begin  {Sort3Numbers}
   ReadLn (Num1, Num2, Num3);
   Order (Num1, Num2); Order (Num1, Num3); Order (Num2, Num3);
   WriteLn (Num1 :8:2, Num2 :8:2, Num3 :8:2);
end.
```


Scope regler.

Scopereglerne bruges til at svare på spørgsmålet:

I hvilke dele af programmet er et navn på en variable, en konstant eller en procedure gyldig?

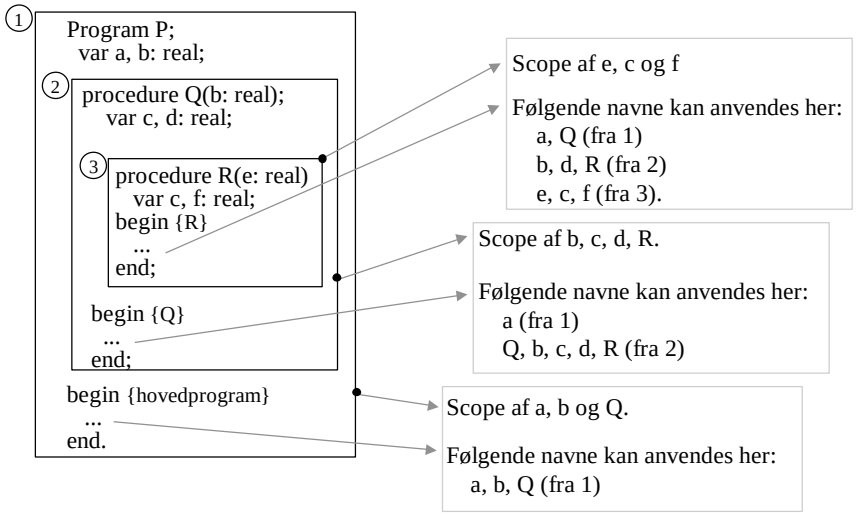
For hver erklæring i et program kan der udpeges et område af programmet, som dækkes af erklæringen: *Scopet* af det erklærede navn.

Scoperegel 1: Scope af et navn er det program eller den procedure, hvori det er erklæret.

Scoperegel 2: Et navn refererer altid til den inderste erklæring af navnet.

```
Program ScopeProgram;
  var i, j, k: integer;

  procedure P(a, j: integer);
    var b, k: integer;
  begin {lokalt sted} end; {p}

begin
   {globalt sted}
end.
```

Scoperegler og indlejrede procedurer.



Funktioner i Pascal.

Ideelt set bør kroppen af en funktion være et udtryk.

Reelt er kroppen af en Pascal funktion en sekvens af kommandoer, som kan tilskrive funktionsnavnet en værdi (funktionens værdi).

Parameter- og scopeforhold af funktioner er præcist som for procedurer.

Eksempel:

```
function gennemsnit_af_3(a, b, c: real): real;
(* returner gennemsnittet af a, b og c *)
var sum: real;
begin
  sum := a + b + c;
  gennemsnit_af_3 := sum/3
end;
```

Programmeringsstil.

- **Undgå sideeffekter fra procedurer.**
  - En sideeffekt er ændring på en global variabel fra en procedure uden om procedurens parametre.
  - Det er dårlig stil at skrive procedurer med sideeffekter.
- **Undgå "effekter" (tilstandsforandring) fra en funktion**
  - Fasthold ideen om, at en funktion *begrebsmæssigt* er en abstration over et udtryk.
  - Undgå at have variabelparametre i funktioner.
- **Undgå at lave assignments til værdiparametre.**
  - Værdiparametre formidler input til procedurer og funktioner. Man bør ikke lave om på (assigne til) inputtet af en abstraktion inde fra abstraktionen selv.
  - Overfør parametrene til lokale variable, og foretag assignments på de lokale variable.
- **Undgå for dyb indlejring af procedurer i procedurer.**
  - Dyb indlejring er svær at overskue.
  - Dyb indlejring hæmmer genbrugeligheden af de indlejrede procedurer.

7. Datatyper og filer.

Ordinaltyper
Tegn og tekststrenge.
Intervaltyper.
Nummereringstyper.
Filer i Pascal.

Repetion af ordinaltyper.

I en ordinaltype kan man tale om 'forrige værdi' og 'efterfølgende værdi'.
Typerne Integer, Char og Boolean er ordinaltyper.
Intervaltyper og nummereringstyper er også ordinaltyper.

Funktioner knyttet til en ordinaltype T:

succ: T -> T
pred: T-> T
ord: T -> Integer
chr: Integer -> Char

Programeksempel med funktionerne:

```
program ordinalProgram;
var ch: char;
    i: integer;
begin
  ch := 'k';
  writeln(succ(ch));
  ch := pred(ch);
  i := ord(ch);
  writeln(chr(i+1))
end.
```


Tegn og tekststrenge.

- Datatypen **Char** i Turbo Pascal:
  - En ordinaltype med 128 tegn.
    - Tegnene i Char er ordnede indbyrdes.
  - Notation: 'a', '3', ';'.
  - Standardiseret alfabet: ASCII tegnsættet (jf Koffman, appendix D side 792)
    - Bogstaver, cifre, specialtegn og kontroltegn.
- Datatypen **String** i Turbo Pascal (tekststrenge):
  - Et array (en tabel) af tegn fra typen Char.
  - Notation: 'En streng'.
  - Ordningen mellem tegn giver os en ordning af tekststrenge.
    - Leksikografisk ordning.
    - Eksempler:
      - 'abe' < 'zebra' 'abe' < 'abekat'

Mere om tekststrenge i lektion 8

Intervaltyper (subrange types).

I Pascal er det muligt at definere et interval af en ordinaltype (heltal og tegn).
Der er således muligt at definere nye typer ud fra eksisterende typer.

Eksempel:

```
Type ciffer_numbers = 0 .. 9;
     ciffer_chars = '0' .. '9'
```

- Brug af navngivne intervaltyper giver ofte mere læselige og forståelige programmer.
- Programmet kan afbrydes hvis en variabel falder uden for sin intervaltype (range error).
- Intervaltyper er nødvendige i forbindelse med definition af tabeller (arrays).

Eksempel på intervaltyper.

```
{$R+}
Program subrange_ex;
Type  ciffer_numbers = 0 .. 9;
      ciffer_chars = '0' .. '9';
Var c1: ciffer_numbers;
    c2: ciffer_chars;
    i: integer;

function ciffer_to_char(ciffer: ciffer_numbers): ciffer_chars;
{ Returner ciffer tegn fra ciffer tal.   Eksempelvis:  1  -> '1' }
begin
  ciffer_to_char := chr(ciffer + ord('0'));
end;

begin
  i := 7;
  writeln(ciffer_to_char(7));
  writeln(ciffer_to_char(10);    { kompileringstidsfejl }
  writeln(ciffer_to_char(i + 3)); { køretidsfejl }
end.
```

Nummereringstyper (enumeration types).

En nummereringstype er en ordinaltype, hvor vi eksplicit opregner typens værdier.
Værdierne i en nummereringstype er konstanter, som introduceres til lejligheden.
Værdierne i en nummereringstype kan ikke umiddelbart indlæses (via read) eller udskrives (via write).

```
Type maaned= (januar, februar, marts, april, maj, juni, juli,
                august, september, oktober, november, december);
      maanedsinterval = 1..31;

function antalDageIMaaned (m: maaned; skudaar: boolean):   maanedsinterval;
begin
  case m of
    januar, marts, maj, juli, august, oktober, december:  antalDageIMaaned := 31;
    april, juni, september, november:                     antalDageIMaaned := 30;
    februar:  if skudaar
                then  antalDageIMaaned := 29
                else  antalDageIMaaned := 28
    else  Halt
  end
end;
```


Nummereringstyper: Måneder.

```
Program maanedsnavne;

Type maaned= (januar, februar, marts, april, maj, juni, juli,
                august, september, oktober, november, december);
      maanedsinterval = 1..31;

var m: maaned;

function antalDageIMaaned (m: maaned; skudaar: boolean):   maanedsinterval;
begin {se forrige slide}  end;

function naesteMaaned(m: maaned): maaned;
begin
  if m < december then naesteMaaned := succ(m) else naesteMaaned := januar
end;

begin
  m := december;
  writeln('December har ', antalDageIMaaned(m, false), ' dage');
  writeln('Januar har ', antalDageIMaaned(naesteMaaned(m), false), ' dage')
end.
```

Nummereringstyper: Karakterer.

```
Program enumEx;
Type  simpel_karakter = (bestaaet, ikke_bestaaet);
      tal_karakter = (nul_nul, nul_tre, fem, seks, syv, otte, ni, ti, elleve, tretten);

function omsaet_karakter(k: tal_karakter): simpel_karakter;
begin
  if k <= fem
  then omsaet_karakter := ikke_bestaaet
  else omsaet_karakter := bestaaet
end;

procedure print_karakter(k: simpel_karakter);
begin
  case k of
    bestaaet: writeln('bestaaet');
    ikke_bestaaet: writeln('ikke_bestaaet')
  end
end;

begin
  print_karakter(omsaet_karakter(syv));
end.
```


Brugerdefinerede typer ift. andre definitioner.

Vi har set, at det i Pascal er muligt at definere nye navngivne typer.
Rækkefølgen af definitioner

konstanter, typer, variable, procedurer/funktioner

er den "naturlige" rækkefølge at introducere erklæringerne.

```
Program brugerTyper(output);
Const lower = 0;
      upper = 9;
Type  ciffers = lower .. upper;
Var ciffer: ciffers;

procedure p(ciffer: ciffers);
begin
  {...}
end;

begin { hovedprogram }
   ciffer := 5;
   p(ciffer)
end.
```

- *Konstanter bruges i typedefinitioner.*
- *Typer bruges i variabelerklæringer.*
- *Variable kan bruges i procedurer og funktioner ifølge scopereglerne.*

Filer i Pascal.

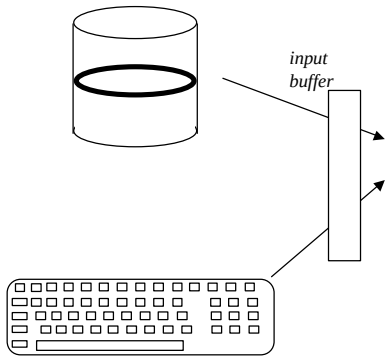
- **Tekstfiler**.
  - Filer som indeholder tegn fra ASCII alfabetet.
  - Tal repræsenteres som en række cifre, der hver i sær er tegn.
    - Filrepræsentatioen kan håndteres af en teksteditor.
- **Binære filer**.
  - Filer som indeholder bitmønstre for andre datatyper end tegn.
  - Tal repræsenteres direkte i det binære talsystem.
    - Kompakt repræsentation.
  - Benyttes ofte til at repræsentere filer med poster (records).

Filer i Pascal er modelleret efter egenskaberne ved magnetbånd:
- Data tilgåes sekventielt.
- Man er enten i *læsetilstand* eller *skrivetilstand.*

Overordnet model for input fra filer i Pascal.

DOS

c:\katalog\inddata.dat



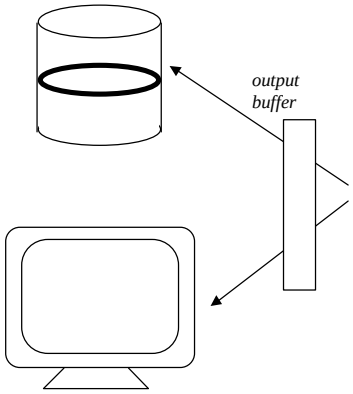
Turbo Pascal

```
var inputData: Text;
    i: integer;
    r: real;
begin
  assign(inputData, 'c:\katalog\inddata.dat');
  reset(inputData);
  ...
  read(inputData, r, i);
  readln(inputData);
  ...
  close(inputData)
end
```

Overordnet model for output til filer i Pascal.

DOS

c:\katalog\uddata.dat



Turbo Pascal

```
var outputData: Text;
    i: integer;
    r: real;
begin
  assign(outputData, 'c:\katalog\uddata.dat');
  rewrite(outputData);
  ...
  write(outputData , r, i);
  writeln(outputData);
  ...
  close(outputData)
end
```


Oversigt over procedurer og funktioner, der arbejder på filer: Læsning og skrivning.

Read(*inputfil*, *input liste*)	Første parameter er af typen Text.
Readln(*inputfil*, *input liste*)	Læser fra *inputfil* ligesom Read læser fra tastaturet. Alle parametre er variabelparametre.
Write(*outputfil*, *output liste*)	Første parameter er af typen Text.
Writeln(*outputfil*, *output liste*)	Skriver på *outputfil* ligesom Write skriver til skærmen. Første parameter er en variabelparameter.

Filposition før reads: ▼

Her er første linie <eol>Her er anden linie<eoln>123 456.789

c1, c2, c3: Char;
Read(inputfil, c1, c2, c3); Readln(inputfil)

c1 = 'H', c2 = 'e', c3 = 'r'

Filposition efter reads: ▼

Her er første linie <eol>Her er anden linie<eoln>123 456.789

Oversigt over procedurer og funktioner, der arbejder på filer: Associering, åbning og lukning.

Assign(*filvariabel*, *filsti*)	Associerer en ***ekstern*** DOS fil med en ***intern*** Pascal fil. Hvis filsti er tom (‘‘) associeres til enten input (tastatur) eller output (skærm).
Reset(*filvariabel*)	Forbered læsning af en fil. “ Spol filen tilbage” til start.
Rewrite(*filvariable*)	Forbered skrivning på filen. Nulstil filen (slet alt).
Close(*filvariabel*)	Afbryd associeringen mellem filvariabel og DOS filen. Ved skrivning: Tøm output bufferen.

Oversigt over procedurer og funktioner, der arbejder på filer: Boolske funktioner.

Eof(*filvariabel*)	Returner hvorvidt det næste tegn i filen er ‘end of fil’ tegnet.
Eoln(*filvariable*)	Returner hvorvidt det næste tegn i filen er et ‘end of line’ tegn.

Eksempel.

```
program SquareAndRoot;
var  InFile,                {input file}
     OutFile : Text;        {output file}
     InFileName : string;   {directory name of input file}
     NextNum : Real;        {next number}

begin
  Write ('Input file name> ');  ReadLn (InFileName);
  Assign (InFile, InFileName);  Reset (InFile);

  Assign (OutFile, 'SQUARES.TXT');  Rewrite (OutFile);

  WriteLn (OutFile, 'N' :10, 'Square root':15,'Square' :15);

  while not EOF(InFile) do
  begin
     ReadLn (InFile, NextNum);
     WriteLn (OutFile, NextNum :10:2, Sqrt(NextNum) :15:2, Sqr(NextNum) :15:2)
  end;

  Close (InFile);  Close (OutFile);
  WriteLn ('Table of roots and squares is in file SQUARES.TXT.')
end.
```

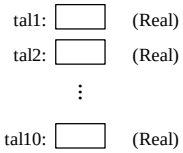

8. Datastrukturer: Arrays og Records.

Arrays (tabeller).
Tekststrenge.
Arrays af flere dimensioner.
Records (poster).
Tabeller af poster.

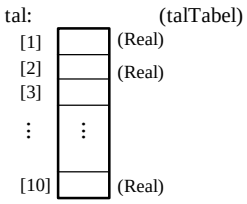
Introduktion til arrays.

Hvis man eksempelvis skal sortere 10 tal i stigende orden er det alt for omstændeligt at erklære 10 forskellige variable til disse tal.

```
var tal1, tal2, tal3, tal4, tal5, tal6, tal7, tal8, tal9, tal10: Real;

procedure sorter(var tal1, tal2, tal3, tal4, tal5, tal6, tal7, tal8,
                 tal9, tal10: Real)
begin {sorter de 10 tal på en eller anden måde} end;

begin
  sorter( tal1, tal2, tal3, tal4, tal5, tal6, tal7, tal8,  tal9, tal10)
end
```




```
type talTabel = array[1..10] of real;
var   tal: talTabel;

procedure sorter(var tal: talTabel)
begin {sorter de 10 tal på en eller anden måde} end;

begin
   sorter(tal)
end
```



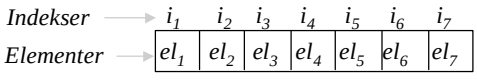
Array begrebet (tabeller).

Et array er en tabel med et antal *nummererede elementer* af samme datatype.

En ordinaltype, typisk et interval — *En vilkårlig type*

Type TabelType = **array**[index_type] **of** element_type;

Var Tabel: TabelType;



Aflæsning af et element fra en tabel: Tabel[i_3]

Udtryk

Skrivning af et element i en tabel: Tabel[i_4] := *nyt_element*

Tabellægning af fakultetsfunktionen (1).

```
Program FakultetsProgram;
{$Q+,R+} {overflow check, range check}
uses crt;

Const Sidste = 12;
Type  IndexType = 1 .. Sidste;
      HeltalsTabel = array[IndexType] of Longint;
Var   Fakultet: HeltalsTabel;
      n: integer;

Procedure LavFakultetsTabel(indtil: IndexType; var FT: HeltalsTabel);
var i: Integer;
begin
  FT[1] := 1;
  for i := 2 to indtil do FT[i] := FT[i-1] * i
end;

begin
  LavFakultetsTabel(Sidste, Fakultet);
  repeat
    write('Opslå fakultet af (0 afslutter): '); readln(n);
    if n > 0 then writeln(Fakultet[n])
  until n = 0
end.
```


Optælling af tegn i en tekstfil.

```
program TegnTaeller;
uses Crt;

Type TegnTaellerTabel = array[Char] of integer;

Var InputFil: Text;
    AntalForekomster: TegnTaellerTabel;
    ch: Char;

begin
  clrscr;
  Assign(InputFil, 'tegntal.pas'); Reset(InputFil);

  for ch := chr(0) to chr(127) do AntalForekomster[ch] := 0;

  while not eof(InputFil)
  do begin
       read(InputFil, ch);
       AntalForekomster[ch] := AntalForekomster[ch] + 1
     end;

  for ch := '0' to 'z' do
  begin writeln(ch: 2, AntalForekomster[ch]:3); readkey end
end.
```

Tekststrenge.

En tekststreng er i princippet et array af typen array[1..*længde*] of char med
- en særlig notation som tillader at "notere en streng" direkte.
- en ordning som tillader os at sammenligne to strenge med '<' og '>'.
- et antal nyttige operationer, som virker på strenge.

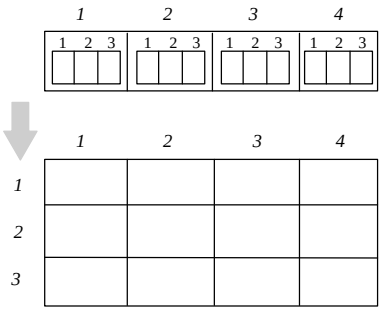
```
Program strengEksempel;
uses Crt;

Type Navn = String[15];

Var fornavn: Navn;
      efternavn:  Navn;
      fuldenavn: String[30];

procedure MedStort(var n: Navn);
begin
   n[1] := Upcase(n[1]);
end;
```

```
begin  {hovedprogram}
  ClrScr;
  fornavn := 'peter'; efternavn := 'petersen';
  MedStort(fornavn);  MedStort(efterNavn);
  fuldenavn := Concat(fornavn, ' ', efternavn);
  writeln(fuldenavn, ': ', length(fuldenavn):3, ' tegn');
  ReadKey
end.
```


Arrays af flere dimensioner.

Elementtypen af et array kan selv være en array-type.

```
Type Matrix = array[1 .. 4] of
                    array[1 .. 3] of Real;

Var M: Matrix;
      r: Real;

begin
   r := M[4][3];

   M[4][3] := 2 * r
end.
```



array[1 .. 4] of array[1 .. 3] of Real

array[1 .. 4, 1 .. 3] of Real

M[i][j] ⟷ M[i, j]

Introduktion til records.

Der er ofte behov for at binde en mængde variable af forskellige typer sammen til en *logisk helhed.*

```
var fornavn, efternavn:  Navn;
    alder: integer;
    cpr:  cprNr;

procedure indlaesPerson(var fornavn, efternavn: Navn;
                        var alder: integer; var cpr: CprNummer);
begin ... end;
```

fornavn: (Navn)
efternavn: (Navn)
alder: (Integer)
cpr: (cprNr)

```
type personType =
    record
      fornavn, efternavn:  Navn;
      alder: integer;
      cpr:  cprNr;
    end;
var person: PersonType;

procedure indlaesPerson(var p: personType);
begin ... end;
```

person: (personType)

fornavn: (Navn)
efternavn: (Navn)
alder: (Integer)
cpr: (cprNr)

Record begrebet (poster).

Et record er en datastruktur med et antal *navngivne felter* som kan være af forskellige datatyper.

Type PostType =
record
felt$_1$: Type$_1$;
felt$_2$: Type$_2$;
...
felt$_n$: Type$_n$;
end;

Var Post: PostType;

felt$_1$ → Værdi af Type$_1$
felt$_2$ → Værdi af Type$_2$
felt$_3$ → Værdi af Type$_3$
felt$_4$ → Værdi af Type$_4$

Aflæsning af felt fra en post: Post.felt4

Navn

Skrivning af felt i en post: Post.felt4 := *ny_feltværdi*

Eksempel: Datoer.

```
Type
  Maanedsdag = 1..31;
  MaanedsNavn = (januar, februar, marts, april, maj, juni, juli,
                 august, september, oktober, november, december);
  DagIUge = (mandag, tirsdag, onsdag, torsdag, fredag, loerdag, soendag);
  Aarstal = Integer;

  Dato =  Record
            ugedag: DagIUge;
            dag: Maanedsdag;
            maaned:  MaanedsNavn;
            aar:  Aarstal;
          End;

function tidligere(d1,d2: Dato): boolean;
{Returner hvorvidt d1 er en tidligere dato end d2}
begin
  tidligere := (d1.aar < d2.aar) or
               ((d1.aar = d2.aar) and (d1.maaned < d2.maaned)) or
               ((d1.aar = d2.aar) and (d1.maaned = d2.maaned) and (d1.dag < d2.dag))
end;
```


Eksempel: Data om en bog (1).

```
Type Bog =
        record
          titel, forfatter, forlag:  String[40];
          udgivelsesaar: Integer;
          laerebog: Boolean;
        end;

var Koffman: Bog;

procedure read_bog(var b: Bog);
begin
  write('titel '); readln(b.titel);
  write('forfatter '); readln(b.forfatter);
  write('forlag '); readln(b.forlag);
  write('udgivelsesaar '); readln(b.udgivelsesaar);
  ask_user('laerebog? ',  b.laerebog);
end;
```

fortsættes...

Eksempel: Data om en bog (2).

```
procedure write_bog(b: Bog);
begin
  write('titel: '); writeln(b.titel);
  write('forfatter: '); writeln(b.forfatter);
  write('forlag: '); writeln(b.forlag);
  write('udgivelsesaar: '); writeln(b.udgivelsesaar);
  write('laerebog: '); if b.laerebog then writeln('Ja') else writeln('Nej')
end;

begin
  read_bog(Koffman);  write_bog(Koffman)
end.
```


Tabeller af poster: Et bibliotek.

I mange praktiske sammenhænge er det nyttigt at lave tabeller som indeholder et antal poster.

```
Program biblioteksProgram;
const MaxAntalBoeger = 25;

type Bog =
        record
          titel, forfatter, forlag: String[40];
          udgivelsesaar: Integer;
          laerebog: Boolean;
        end;

Bibliotek =
  array[1 .. MaxAntalBoeger] of Bog;

var boghylde: Bibliotek;
    i: integer;
    fortsaet: boolean;
```

```
begin  {hovedprogram }
  fortsaet := true;  i := 1;
  while fortsaet
  do begin
        read_bog(Boghylde[i]);
        i := i + 1;
        ask_user('Fortsaet? ', fortsaet);
     end;
  {...}
end.
```

Tabeller af poster: En kalender (1).

```
Const Antal_dage_i_kalender = 100; {Antal dage, som kalenderen kan indeholde}

Type  Dage = 1 .. Antal_dage_I_Kalender;
      Kalender = array[Dage] of Dato;

Var Kal: Kalender;
    d, start, slut: Dage;
    startDato, slutDato: dato;

procedure lav_kalender(fraDato, tilDato: Dato; var k: Kalender);
{Prebetingelse:  fraDato er tidligere end tilDato.
  Der er ikke flere dage mellem fraDato og tilDato end Antal_Dage_I_Kalender.}
var d: Integer;
    denne_dato, naeste_dato: Dato;
begin
  d := 1; denne_dato := fraDato;
  while tidligere(denne_dato, tildato)
  do begin
       k[d] := denne_dato; d := succ(d);
       imorgen(denne_dato, naeste_dato);  { Oevelse! }
       denne_dato := naeste_dato
    end;
end;
```


Tabeller af poster: En kalender (2).

```
begin {Hovedprogram}
  writeln('Startdato'); laesDato(startDato);    {Indlæser en dato - ikke def. på slides}}
  writeln('Slutdato'); laesDato(slutDato);
  tildelUgeDag(startDato);   {bestemmer ugedagen af startdato - ikke def. på slides}

  lav_kalender(startDato, slutDato, Kal);

  writeln('Kalenderudskrivning, hvilken start nummer'); readln(start);
  writeln('Kalenderudskrivning, hvilken slut nummer'); readln(slut);
  for d := start to slut do
  dato_udskriv(Kal[d]);       {udskriver en dato paa skaermen - ikke def. på slides}
end.
```

9. Dataabstraktion.

Repetition af datatyper.
Abstrakte datatyper.
Fordele ved dataabstraktion.
Eksempel: Den abstrakte datatype Punkt.
Units i Turbo Pascal.
På vej mod objekt-orienteret programmering.

Repetition af abstraktion med procedurer.

- En procedure er en *abstraktion* over en sekvens af kommandoer.
  - Proceduren *indkapsler* en mængde detaljerede kommandoer, som efter proceduredefinitionen kan refereres gennem proceduren's navn.
  - Procedurens navn og parametre udgør *grænsefladen* til de dele af programmet, som kalder proceduren.
  - En *præbetingelse* er et udsagn, der udtrykker forudsætninger der skal opfyldes forud for procedurens kald.
  - En *postbetingelse* er et udsagn, der karakteriserer programtilstanden efter at proceduren er kørt til ende.

```
Procedure Navn(parametre);
{Præbetingelse:  Udsagn}
begin
   Krop
{Postbetingelse:  Udsagn}
end;
```

```
Procedure squareRoot(x: real; var res: real);
{Præbetingelse:  x >= 0}
begin
   ...
{Postbetingelse:  res * res = x}
end;
```

Datatyper.

En datatype beskriver en mængde af værdier.

Eksempel:

Integer = {-32768, -32767, ...-2, -1 , 0, 1, 2, ... 32767}
Boolean = {false, true}

I Pascal er det muligt at definere nye typer:

- Synonymer
- Intervaltyper
- Nummereringstyper
- Tabeller (arrays)
- Poster (records)

```
Type  Årstal = Integer;
      Cifre = '0' .. '9';
      Maanedsnavn = (jan, feb, mar, apr, maj,
                     jun, jul, aug, sept, okt,
                     nov, dec);
      CifferTabel = array[1..10] of Cifre;
      Dato = record
               dag: 1 .. 31;
               maaned: Maanedsnavn;
               år: Årstal;
             end;
```


Datatyper og operationer.

De indbyggede datatyper i Pascal 'er født med' en samling af operationer, som tillader os at arbejde på typens værdier.

Enhver konstruktion, forandring eller aflæsning af egenskaber sker i princippet gennem én af datatypens operationer (i bred forstand).

Vi har ikke adgang til hvorledes datatypens værdier lagres inden i maskinen.

Eksempel: *Heltal af typen Integer.*

Maskinens lager

1101
0101
1001

Værdi-notation og operationer.

13

5

9

+ * - *div* *mod* *succ* *pred*

Abstrakte datatyper.

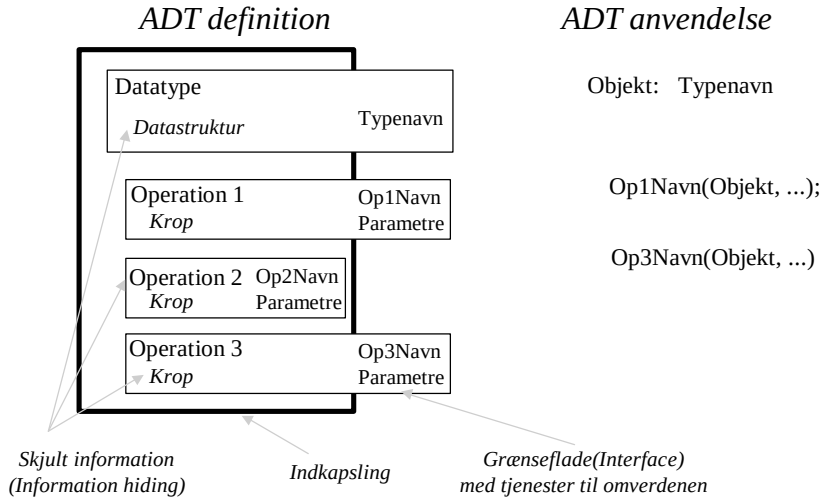
En abstrakt datatype (ADT) er
- en mængde af data-objekter.
- en samling af operationer (procedurer og funktioner), som arbejder på disse data-objekter via parametre.

Data-objekterne kan være konkrete eller abstrakte hverdags-ting, som vi ønsker at behandle i et program.

Eksempel: *Studenter i et registreringsprogram på AAU.*

ADT:	Mængden af studerende på AAU.
Et data-objekt:	En bestemt studerende.
Operationer:	NyStuderende(navn, adresse, alder): Studerende
	Alder(studerende): Integer
	StudenterId(studerende): Nummer
	ErFærdigUddannet(Studerende): Boolean
	RegistrerEksamen(Studerende, Eksamen, Resultat)

Definition og anvendelse af abstrakte datatyper.



Eksempel på definition og anvendelse af abstrakte datatyper.

ADT definition

```
Type Studerende =
    Record
      Navn: String;
      Fødselsdato: Dato;
      EksamensRes: ResultatTabel;
    End

Procedure NyStuderende
 (var s: studerende, n: String, fd: Dato);
begin s. Navn := n; s.Fødselsdato := fd;
end;

Function ErFærdig
 (var S: Studerende): Boolean;
begin
  { gennemløb S.EksamensRes }
end;
```

ADT anvendelse

```
Var  Jens:  Studerende;
     FD:  Dato;
Begin

 NyDato(FD, 5, 11, 95);
 NyStuderende(Jens, 'Jens', FD);

 If ErFærdig(Jens)
 then writeln('Tillykke')
 else writeln('Tag endnu et semester')


End
```


Fordele ved dataabstraktion.

- Datastrukturen af et objekt (datarepræsentationen) er ukendt for den programmør, som anvender datatypen.
- Det er muligt at ændre på detaljer i en datastruktur uden at skulle ændre i hele programmet.
  - Det er nok at ændre lokalt i den abstrakte datatype.
- Den abstrakte datatype virker som en ***brandmur*** omkring datarepræsentationen.
- Objekter i den abstrakte datatype manipuleres udelukkende gennem de operationer, som udgør grænsefladen af typen.
  - Det er muligt at forstå en operation på typen uden kendskab til detaljer i kroppen af operationen.
- Ved brug af abstrakte datatyper er vi selv i stand til at lave typer, der har tilsvarende egenskaber som de typer, Pascal er 'født med'.
- ADT-er virker som ***program-byggeklodser***, der kan bruges og genbruges i flere forskellige sammenhænge.
- Objekter i en ADT udbyder en samling af passive tjenester, der skal aktiveres af det omkringliggende program for at være nyttige.

Eksempel: Den abstrakte datatype Punkt (1).

```
{ ************************ ADT  Punkt ************************ }

{ Et punkt i et sædvanligt 2-dimensionelt koordinatsystem }
type Punkt = record
                x, y: Real;
             end;

procedure nytPunkt(var P: Punkt; x_koord, y_koord: Real);
{ tilskriv koordinater af punktet P }
begin   P.x := x_koord;  P.y := y_koord  end;

function xKoordinat(var P: Punkt): Real;
{ aflæs og returner x-koordinaten af P }
begin   xKoordinat := P.x  end;

function yKoordinat(var P: Punkt): Real;
{ aflæs og returner x-koordinaten af P }
begin   yKoordinat := P.y  end;

procedure flytPunkt(var P: punkt; deltaX, deltaY: Real);
{ forskyd punktet P med deltaX i x-retning og deltaY i y-retning }
begin   P.x := P.x + deltaX;  P.y := P.y + deltaY  end;
```

fortsættes ...

Eksempel: Den abstrakte datatype Punkt (2).

```
procedure drejPunkt(var P: punkt; vinkel: Real);
{ drej punktet P om nulpunktet med vinklen vinkel mod urets omløb.}
begin  ... end;

function afstand(var P, Q: Punkt): Real;
{ Returner afstanden mellem P og Q }
begin
  afstand := sqrt(sqr(abs(P.x - Q.x)) + sqr(abs(P.y - Q.y)))
end;

function afstandTilNulpunkt(var P:Punkt): Real;
{ Returnerer afstanden mellem P og koordinatsystemets nulpunkt }
var Nulpunkt: Punkt;
begin
  nytPunkt(Nulpunkt, 0.0, 0.0);
  afstandTilNulpunkt := afstand(Nulpunkt, P);
end;

{ ********************* Slut  på ADT Punkt ********************** }
```

Eksempel: Anvendelse af den abstrakte datatype Punkt.

```
var A, B: Punkt;

begin
  nytPunkt(A, 3.0, 1.0);
  nytPunkt(B, 3.0, 1.0);
  flytPunkt(B, 3.0, 4.0);
  writeln('B er placeret i (', xKoordinat(B):4:1, ',', yKoordinat(B):4:1, ')' );
  writeln('A er placeret i (', xKoordinat(A):4:1, ',', yKoordinat(A):4:1, ')' );
  writeln('Afstand mellem A og B er ', afstand(A, B):4:1);
end.
```


Eksempel: Ændring af Punkt's repræsentation (1).

```
{ ********************* ADT  Punkt ********************** }
type Punkt = record       { Et punkt i polære koordinater }
                radius, vinkel: Real;
             end;

function vinkel(x, y: Real): Real;
{ Beregner vinklen, i grader, af punktet (x,y) ift. x-aksen. Intern operation. }
begin ... end;

procedure nytPunkt(var P: Punkt; x_koord, y_koord: Real);
{ tilskriv koordinater af punktet P }
begin
  P.radius := sqrt(sqr(x_koord) + sqr(y_koord));
  P.vinkel := vinkel(x_koord, y_koord);
end;

function xKoordinat(var P: Punkt): Real;
{ aflæs og returner x-koordinaten af P }
begin  xKoordinat := P.radius * cos(P.vinkel) end;

function yKoordinat(var P: Punkt): Real;
{ aflæs og returner y-koordinaten af P }
begin   yKoordinat := P.radius * sin(P.vinkel)  end;
```

fortsættes ...

Eksempel: Ændring af Punkt's repræsentation (2).

```
procedure flytPunkt(var P: punkt; deltaX, deltaY: Real);
{ forskyd punktet P med deltaX i x-retning og deltaY i y-retning }
begin ... end;

procedure drejPunkt(var P: punkt; vinkel: Real);
{ drej punktet P om nulpunktet med vinklen vinkel mod urets omløb.}
begin  P.vinkel := P.vinkel + vinkel end;

function afstand(var P, Q: Punkt): Real;
{ Returner afstanden mellem P og Q }
begin ... end;

function afstandTilNulpunkt(var P: Punkt): Real;
{ Returnerer afstanden mellem P og koordinatsystemets nulpunkt }
var Nulpunkt: Punkt;
begin
  afstandTilNulpunkt := P.radius;
end;

{ ********** Slut på ADT Punkt ********** }
```


Dataabstraktion med Turbo Pascal Units.

En unit i Turbo Pascal er et modul, som tillader os at indkapsle en mængde af definitioner.

Definitioner i en unit's **interface-del** er synlige udadtil.

Definitioner i en unit's **implementations-del** er usynlige udadtil.

En unit oversættes separat og uafhængig af de programmer, som anvender det.

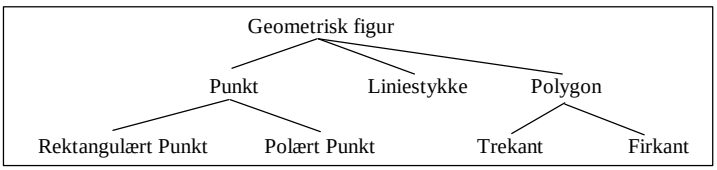
```
Unit PunktADT;
Interface
  Type Punkt = Record
                 x, y: Real;
               End;

  procedure nytPunkt(var P: Punkt; x_koord, y_koord: Real);
  function xKoordinat(var P: Punkt): Real;
  function yKoordinat(var P: Punkt): Real;
  ...

Implementation
  { Fuld definition af alle procedurer og funktioner i interface delen,
    samt definition af interne operationer }
End.
```

Anvendelse af Turbo Pascal units.

```
program punkt_program(input, output);
{ Dette program bruger den abstrakte datatype
  punktADT, som er programmet i en TP unit }

uses punktADT;

var A, B: Punkt;

begin
  nytPunkt(A, 3.0, 1.0);
  nytPunkt(B, 3.0, 1.0);
  flytPunkt(B, 3.0, 4.0);
  writeln('B er placeret i (', xKoordinat(B):4:1, ',', yKoordinat(B):4:1, ')' );
  writeln('A er placeret i (', xKoordinat(A):4:1, ',', yKoordinat(A):4:1, ')' );
  writeln('Afstand mellem A og B er ', afstand(A, B):4:1);
end.
```


På vej mod objekt-orienteret programmering.

- I objekt-orienterede programmeringssprog bruges klasser i stedet for moduler ala units fra Turbo Pascal.
- Abstrakte datatyper er fundamentet for ethvert objekt-orienteret programmeringssprog.
- En klasse kan som helhed opfattes som en definition af en abstrakt datatype.
- Et modul (en unit) er en ramme omkring en typedefinition og nogle operationer.
- Klasser kan organiseres i et hierarki, hvor én klasser arver fra en anden klasse.
  - Sådanne klassehierarkier kan afspejle begrebshierarkier, som vi kender dem fra vores hverdag.



Sammenligning af klasser og moduler (units).

```
class Punkt
export nytPunkt, xKoordinat,
        yKoordinat, flytPunkt;

  x, y: Real;

  nytPunkt(xk,yk: Real) begin ... end;
  xKoordinat: Real begin ... end;
  yKoordinat: Real begin ... end;
  flytPunkt(deltay, deltay: Real)
                          begin ... end;
end;
```

```
Unit PunktADT;
Interface
  Type  Punkt = Record
                  x, y: Real;
                End;

  procedure nytPunkt
                (var P: Punkt; x_koord, y_koord: Real);
  function xKoordinat(var P: Punkt): Real;
  function yKoordinat(var P: Punkt): Real;
  procedure flytPunkt(var P: Punkt; deltax, deltay: Real);
  ...

Implementation
  ...
End.
```

```
P:  Punkt;
P.nytPunkt(3.0, 1.0);
P.flytPunkt(3.0, 4.0);
```

```
P: Punkt;

nytpunkt(P, 3.0, 1.0);
flytpunkt(P, 3.0, 4.0);
```

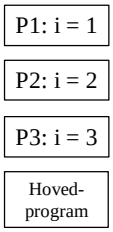

10. Rekursion.

Kæder af procedurekald.
Gentagelse ved brug af rekursion.
Styrken af rekursion.
Potensopløftning.
Hanoi's tårne.

En kæde af procedurekald.

```
Program KædeAfKald;

Procedure P1(i: integer);
begin  writeln('P', i) end;

Procedure P2(i: integer);
begin  writeln('P', i) ;  P1(i-1)  end;

Procedure P3(i: integer);
begin  writeln('P', i ) ;  P2(i-1)  end;

begin {hovedprogram}
   P3(3)
end.
```

Et øjebliksbillede af programudførelsen på det tidspunkt hvor P1 er aktiveret.



Udskrift:

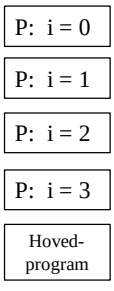
P3
P2
P1

Procedurerne P*i* ligner hinanden så meget, at de kan erstattes af én procedure P, som kalder sig selv.

En kæde af rekursive procedurekald.

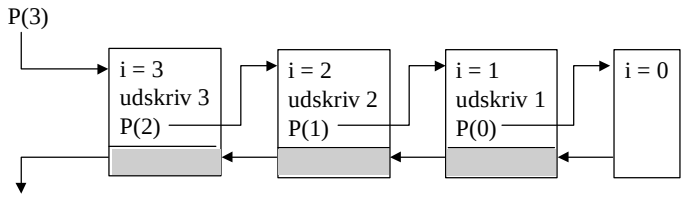
```
Program RekursiveKald;

Procedure P(i: integer);
begin
   if i >= 1
   then begin
            writeln(i);
            P(i-1)
        end
end;

begin {hovedprogram }
   P(3)
end.
```

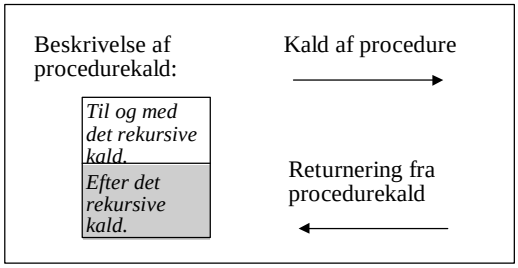
Et øjebliksbillede af programudførelsen på det tidspunkt hvor P er aktiveret på 0



Proceduren P er *rekursiv* idet den for nogle programtilstande kalder sig selv.
En rekursiv procedure skal altid omfatte en programtilstand, hvor den undlader at kalde sig selv.

Trace af P.





Gentagelse ved brug af rekursion (1).

Det er muligt at erstatte anvendelsen af gentagende kontrolstrukturer (løkker) med kald af en rekursiv procedure.

Brug af løkke

```
procedure spoerg_brugeren
          (sp: string; var svar: boolean);
var respons: char;
begin
  repeat
    writeln(sp, '. Svar j eller n ');
     readln(respons)
  until (respons = 'j') or (respons = 'n');
  svar := respons = 'j'
end;
```

Brug af rekursiv procedure

```
procedure spoerg_brugeren
        (sp: string; var svar: boolean);
var respons: char;
begin
  writeln(sp, '. Svar j eller n ');
  readln(respons);
  if (respons <> 'j') and  (respons <> 'n')
  then  spoerg_brugeren(concat('Igen:', sp),
                                svar)
  else svar := respons = 'j'
end;
```

Gentagelse ved brug af rekursion (2).

Brug af gentagende kontrolstruktur

```
function find_rod (l, u: real): real;
begin
  while not ( f(midtpunkt(l,u)) = 0 )
  do begin
       if samme_fortegn(f(midtpunkt(l, u)), f(u))
       then u := midtpunkt(l,u)
       else l := midtpunkt(l,u);
      end;
  find_rod:= midtpunkt(l,u);
end;
```

Brug af rekursiv procedure

```
function find_rod (l, u: real): real;
begin
  if f(midtpunkt(l,u)) = 0
  then find_rod := midtpunkt(l,u)
  else if samme_fortegn(f(midtpunkt(l, u)), f(u))
  then find_rod := find_rod(l, midtpunkt(l, u))
  else find_rod := find_rod(midtpunkt(l, u), u)
end;
```


Styrken af rekursion.

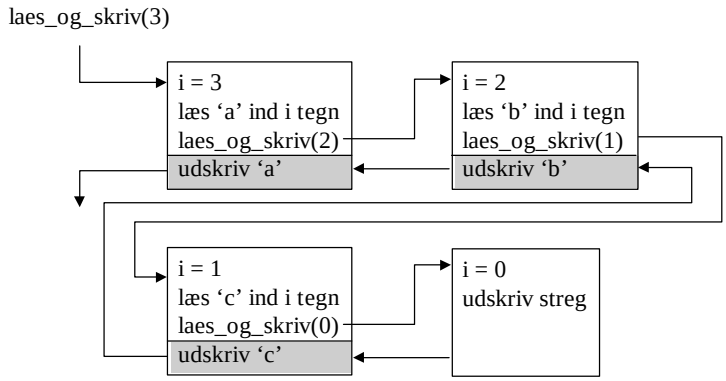
```
Program rekursion;
const antal = 3;

procedure laes_og_skriv(i: integer);
var tegn: char;
begin
   if i = 0
   then writeln('----------------------')
   else begin
           write('i = ', i:2, '. Indlaes tegn: ');
           readln(tegn);
           laes_og_skriv(i-1);
           writeln(tegn)
        end;
end;

begin
  writeln('Indskriv ', antal, ' tegn');
  laes_og_skriv(antal);
end.
```

Vi læser elementer af tabellen 'på vej op ad kaldstakken'.

Vi udskriver elementer 'på vej ned ad kaldstakken'.

Samlet effekt: Elementer udskrives i modsat rækkefølge af indlæsning.

Trace af laes_og_skriv



Eksempel: Potensopløftning (1).

```
Function oploeft(tal: Real; potens: integer): Real;
begin
  if potens = 0
  then oploeft := 1.0
  else if potens > 0
  then oploeft := tal * oploeft(tal, potens - 1)
  else oploeft := 1.0/oploeft(tal, -potens)
{ Postbetingelse: oploeft = tal ** potens  }
end;
```

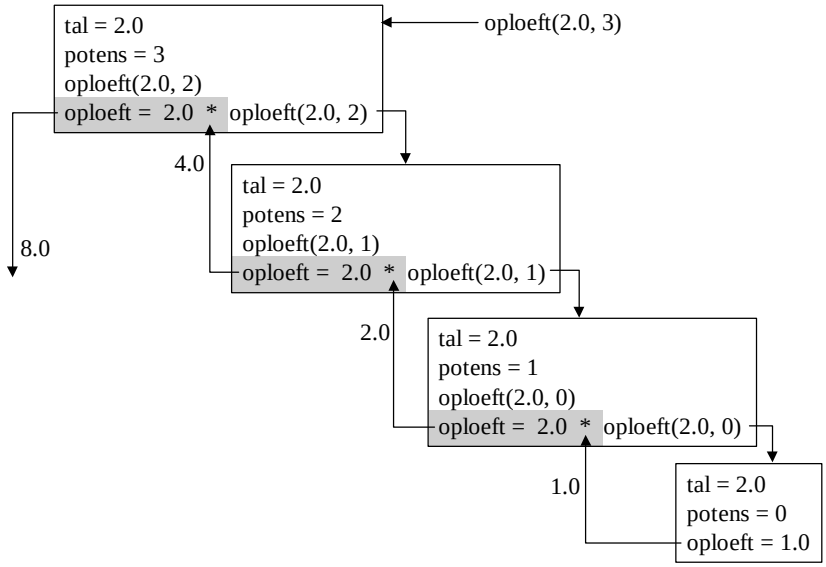
potens > 0:
$tal^{potens} = tal^{potens - 1} \cdot tal$

potens = 0:
$tal^{0} = 1.0$

potens < 0:
$tal^{potens} = 1.0 / tal^{-potens}$

Denne version af funktionen udfører samme antal multiplikationer som parameteren potens.

Trace af oploeft.



Eksempel: Potensopløftning (2).

```
Function oploeft(tal: Real; potens: integer): Real;
begin
  if potens = 0
  then oploeft := 1.0
  else if (potens > 0) and lige(potens)
  then oploeft := sqr(oploeft(tal, potens div 2))
  else if  (potens > 0) and not lige(potens)
  then oploeft := tal * oploeft(tal, potens - 1)
  else oploeft := 1.0/oploeft(tal, -potens)
{ Postbetingelse: oploeft = tal ** potens }
end;
```

potens er lige:

$$tal^{potens} = (tal^{potens/2})^2$$

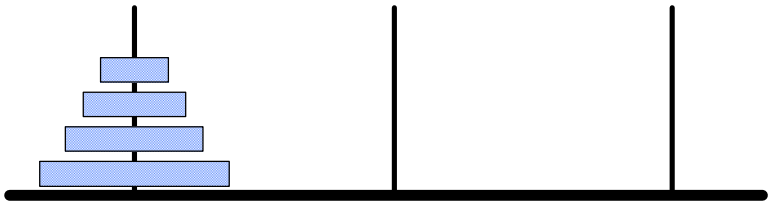
potens er ulige:

$$tal^{potens} = tal^{potens-1} \cdot tal$$

```
function lige(n: integer): boolean;
begin
   lige := n mod 2 = 0
end;
```

Denne version af funktionen udfører et meget mindre antal multiplikationer end versionen på forrige slide.

Hanoi's tårne (1).



Givet:

Et antal skiver på venstre stang, hvor
mindre skiver er placeret oven på større skiver.

Problemet:

At flytte stakken af skiver fra venstre til højre stang, således at

- skiverne flyttes én ad gangen.
- en større skive må aldrig placeres oven på en mindre skive undervejs i flytteprocessen.

Hanoi's tårne (2).

Hanoi(3, Venstre, Hoejre, Midten):

```
type Stang = (Venstre, Midten, Hoejre);

procedure Hanoi(n: Integer; Fra, Til, Imellem: Stang);
{ Flyt n skiver fra 'Fra' stangen' til 'Til' stangen
   med brug af 'Imellem' stangen som mellemstation. }
{ Prebetingelse: n >= 1.
   Fra, Til, og Imellem er indbyrdes forskellige stænger }
begin
  if n = 1
  then flyt_een_skive(Fra, Til)
  else begin
          Hanoi(n-1, Fra, Imellem, Til);
          Flyt_een_skive(Fra,Til);
          Hanoi(n-1, Imellem, Til, Fra)
       end
end;
```

```
Flyt fra Venstre til Højre
Flyt fra Venstre til Midten
Flyt fra Højre til Midten
Flyt fra Venstre til Højre
Flyt fra Midten til Venstre
Flyt fra Midten til Højre
Flyt fra Venstre til Højre
```

```
procedure Flyt_een_skive(Fra, Til: Stang);
begin
  writeln('Flyt fra ', out(Fra), ' til ', out(Til));
end;
```

Hanoi's tårne (3).

Et kald af Hanoi(n, ...) foretager $2^n - 1$ flytninger.

Når antallet af skiver bliver stor kan man i praksis antage, at flytte-processen aldrig bliver færdig.

n	2^n	$10^{-9} \cdot 2^n$	$10^{-3} \cdot 2^n$
5	32	$3.2 \cdot 10^{-8}$ sek	$3.2 \cdot 10^{-2}$
25	$3.4 \cdot 10^7$	0.03 sek	9.3 timer
50	$1.1 \cdot 10^{15}$	13 dage	35702 år
65	$3.7 \cdot 10^{19}$	1170 år	$1.17 \cdot 10^9$ år
80	$1.2 \cdot 10^{24}$	$3.8 \cdot 10^7$ år	$3.8 \cdot 10^{13}$ år
100	$1.2 \cdot 10^{39}$	$4.0 \cdot 10^{13}$ år	$4.0 \cdot 10^{20}$ år

Hanoi(4, Venstre, Hoejre, Midten):

Flyt fra Venstre til Midten
Flyt fra Venstre til Højre
Flyt fra Midten til Højre
Flyt fra Venstre til Midten
Flyt fra Højre til Venstre
Flyt fra Højre til Midten
Flyt fra Venstre til Midten
Flyt fra Venstre til Højre
Flyt fra Midten til Højre
Flyt fra Midten til Venstre
Flyt fra Højre til Venstre
Flyt fra Midten til Højre
Flyt fra Venstre til Midten
Flyt fra Venstre til Højre
Flyt fra Midten til Højre

11. Datastrukturer og Informationssøgning

Fri studieaktivitet i Informationsteknologi

Indhold

- Lineær søgning i en tabel.
- Binær søgning i en tabel.
- Indsættelse og sletning i en tabel.
- Sammenkædede datastrukturer.
- Forgrenede, sammenkædede datastrukturer: Træer
- Søgning i søgetræer.
- Indsættelse i søgetræer.
- Informationssøgning på en disk.
- Filer og indekser.

Informationssamlinger

- En informationssamling skal tilbyde mulighed for
  - søgning efter information
  - indsættelse af ny information
  - sletning af eksisterende information.
- Effektiv søgning er næsten altid ønskelig eller påkrævet.
- Effektiv indsættelse og sletning er ikke altid væsentlig.
  - Informationssamlingen opdateres lejlighedsvis, evt. hver nat, hvor der ikke forekommer søgninger.
- Grundlaget for en abstrakt datatype for informationssamlinger er en datastruktur, som tillader tilstrækkelig effektiv udformning af søgning, indsættelse og sletning.
- Informationssamlinger manifesterer sig ofte som databaser.

Søgning

1	2	3		*n*
Fornavn Peter	*Fornavn* Lars	*Fornavn* Lise	.....	*Fornavn* Albert
Efternavn Jensen	*Efternavn* Hansen	*Efternavn* Fredriksen		*Efternavn* Fisker
Cpr Nr. 030563-1131	*Cpr Nr.* 050633-1235	*Cpr Nr.* 030963-3436		*Cpr Nr.* 091021-3335

- Hvad er udgangspunktet for søgningen?
  - Fornavn, efternavn eller personnummer.
- Hvad søger vi efter?
  - Noget af den information, som ikke er i udgangspunktet for søgningen.
- En *nøgle* er et felt i en post, som entydigt identificerer posten i hele informationssamlingen.
  - Hvis vi søger efter et felt, som ikke er en nøgle, risikerer vi at få to eller flere poster retur.

Lineær søgning i en tabel

Ved lineær søgning testes tabellens elementer én for én, fra venstre mod højre.

Uanset elementernes indbyrdes placering vil vi finde et element, hvis det eksisterer i tabellen.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mads	Kurt	Lars	Ib	Åse	Niels	Alberte	Mette	Albert	Bo

- Tidsforbrug:
  - I værste tilfælde skal vi gennemsøge alle elementer i tabellen.
  - I gennemsnitstilfældet skal vi gennemsøge halvdelen af tabellens elementer.

Pascal procedure til lineær søgning

```
Procedure soeg_sekventielt
    (VAR Tabel: ArrayType;
     soegeNoegle: NoegleType;
     fra, til: TabelInterval;
     VAR position: Integer;
     VAR fundet: Boolean);
(* Soeg sekventielt i Tabel efter Noegle.
   Hvis det findes returneres fundet = true og
   Tabel[position] = Noegle. Hvis det ikke findes returneres fundet = false. *)
Begin
  fundet := False;
  position := fra;
  while (position <= til) and (not fundet) do
      (* Løkkeinvariant:  fra <= position <= til + 1;
         Søgenøgle findes ikke i intervallet [ fra..position - 1 ]. *)
     if Tabel[position].Noegle = soegeNoegle
     then fundet := True
     else position := position + 1
End;
```

```
Const Max = 100;
Type TabelInterval = 1 .. Max;
    NoegleType = integer;
    ArrayType =
        array[TabelInterval] of
            Record
              Noegle: NoegleType;
              (* Andre data *)
            End;
```


Binær søgning i en tabel

Hvis vi sorterer elementerne i tabellen kan det lade sig gøre at søge meget mere effektivt end ved lineær søgning.

T:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 = *n*
Albert	Alberte	Bo	Ib	Kurt	Lars	Mads	Mette	Niels	Åse

Idéen bag binær søgning:

- Antag vi søger efter elementet *x*.
- Sammenlign tabellens midterste element T[*m*] med *x*.
- Hvis T[*m*] = *x* har vi fundet hvad vi søgte.
- Hvis *x* < T[*m*] kan vi nøjes med at søge efter *x* i intervallet 1..(*m*-1).
- Hvis *x* > T[*m*] kan vi nøjes med at søge efter *x* i intervallet (*m*+1) .. *n*

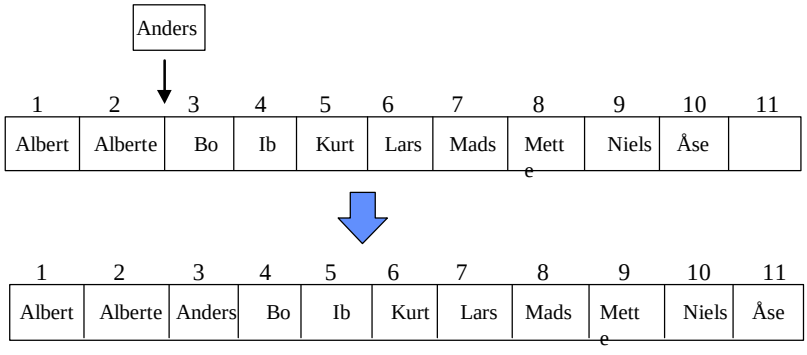
Tidsforbrug:

- I værste tilfælde halverer vi intervallet [1.. *n*] $\log_2(n)$ gange inden vi finder *x* (eller indtil vi erkender, at *x* ikke er i tabellen).

Pascal procedure til binær søgning

```
Procedure Soeg_binaert
    (VAR Tabel: ArrayType; soegeNoegle: NoegleType;
     fra, til: TabelInterval;
     VAR position: Integer;  VAR fundet: Boolean);
(* Søg binaert i Tabel efter Noegle.
   Hvis det findes returneres fundet = true og Tabel[position] = Noegle.
   Hvis det ikke findes returneres fundet = false. *)
Begin
  if fra > til
  then fundet := false
  else begin
          position := (fra + til) div 2;
          if Tabel[position].noegle = soegeNoegle
          then fundet := true
          else if Tabel[position].noegle < soegeNoegle
          then Soeg_binaert(Tabel, soegeNoegle, position+1, til,
                                position, fundet)
          else Soeg_binaert(Tabel, soegeNoegle, fra, position-1,
                                position, fundet)
       end
End;
```


Indsættelse og sletning i en sorteret tabel



Indsættelse og sletning kræver i gennemsnit, at man skal "skubbe rundt med" halvdelen af tabellens elementer.

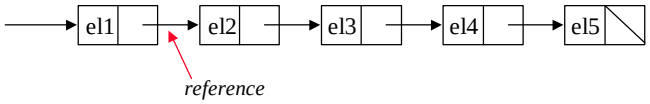
Det er derfor vanskeligt at opnå effektiv indsættelse og sletning såvel som effektiv søgning i en sorteret tabel.

Sammenkædede datastrukturer

En sammenkædet datastruktur består af dataenheder, som kan indeholde en *reference* til (en adresse på) en anden dataenhed.

Dette er et alternativ til en tabel, hvor dataenhederne (tabellens elementer) er placeret i umiddelbar forlængelse af hinanden.

Kædet liste:



Tilsvarende tabel:

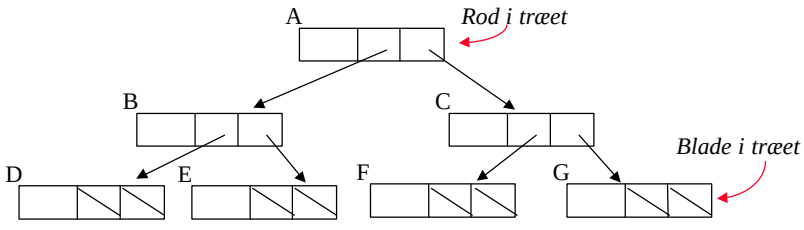
el1	el2	el3	el4	el5

Forgrenede, sammenkædede datastrukturer til søgning

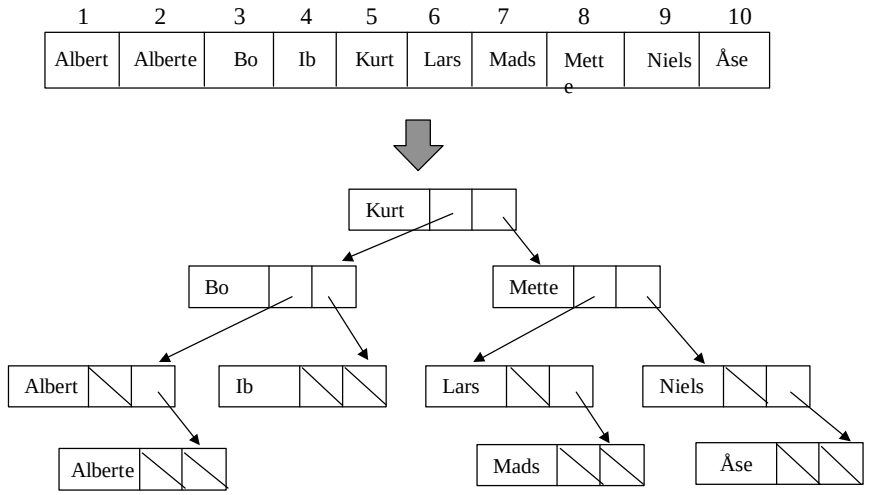
Ved brug af sammenkædning er det muligt at lave forgrenede datastrukturer, som vi kalder *træer*.

I et *søgetræ* kræver vi at alle knuder til venstre for roden er mindre end roden, og at alle knuder til højre for roden er større end roden.

Samme egenskab skal gælde i højre og venstre undertræ.



Søgetræer i forhold til binær søgning i tabel



Søgning i et søgetræ.

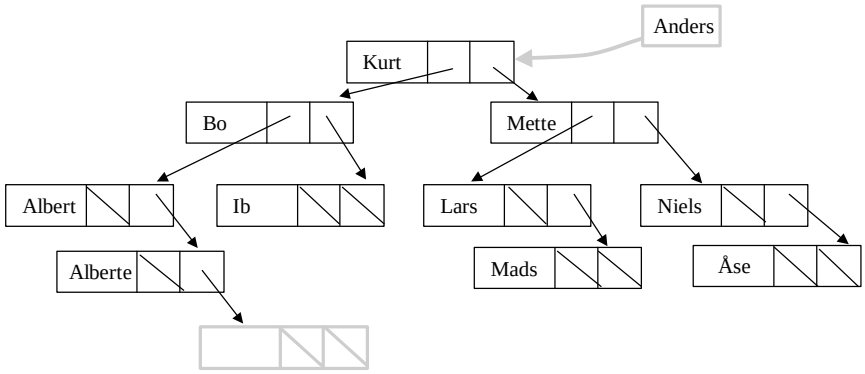
- Søgning i et (binært) søgetræ svarer nøje til binær søgning i en sorteret tabel:
  - Antag vi søger efter elementet *x*.
  - Sammenlign roden i søgetræet med *x*.
  - Hvis roden = *x* har vi fundet hvad vi søgte.
  - Hvis *x* < roden kan vi nøjes med at søge efter *x* i det venstre undertræ.
  - Hvis *x* > roden kan vi nøjes med at søge efter *x* i det højre undertræ.
- Tidsforbrug for søgning i et søgetræ afhænger af hvor mange grene vi skal følge på vej fra roden til det sted, hvor det søgte element evt. befinder sig.
- Hvis et træ med *n* knuder er i rimelig balance er der ca. $\log_2(n)$ grene fra roden til et blad i træet.

Indsættelse af data i et søgetræ.

Det er muligt at indsættet et vilkårligt nyt element som et nyt blad i et søgetræ.

Der er fare for at træet bliver "skævt" i takt med at nye elementer indsættes.

Det kan blive nødvendigt at "afbalancere" træet som følge af dette.



Søgning efter information på disken

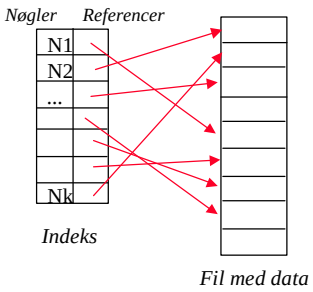
- Søgning i tabeller retter sig primært mod søgning i maskinens interne arbejdslager.
- I mange realistiske tilfælde er information lagret på maskinens eksterne lager: på en disk.
  - Vi ønsker at information skal overleve, at maskinen slukkes.
  - Informationen kan ikke rummes i arbejdslageret.
- En 'informationsenhed' på disken kaldes for en *fil*.

Lidt om filer

- En fil er en tabel-lignende datastruktur, som vedbliver med at eksistere selv efter at maskinen slukkes.
  - Filer bor typisk på en disk eller et magnetbånd.
- Forskellige slags filer:
  - Tekstfiler: Kan behandles af en teksteditor.
  - "Binære filer":
    - Filer med en tabel af poster, som organiserer en mængde af information.
    - Mange andre slags ...
  - I nogle filer er det kun muligt at læse post *n* hvis man først læser post 1, 2, ..., n-1: *sekventielle filer*.
  - I andre filer kan man læse post nummer *n* direkte: *direkte filer*.
- Filer i forhold til arrays.
  - Tilgang til information på filer er meget langsommere end tilgang til information i en tabel.

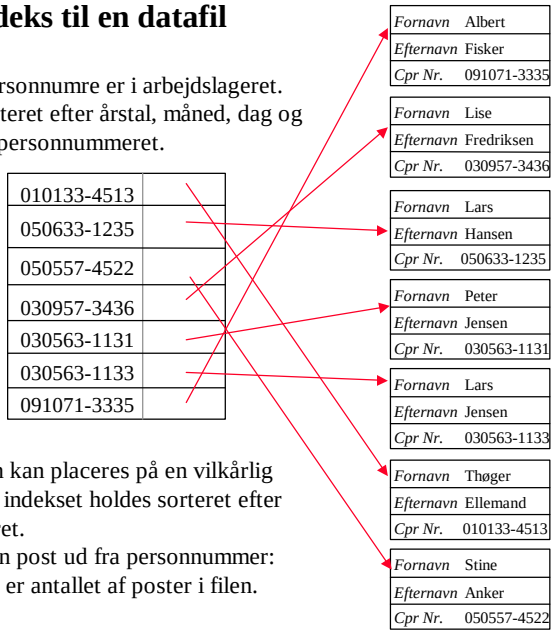
Søgning efter information på filer via et indeks

- Et *indeks* er en tabel i arbejdslageret, som kun indeholder nøgler og referencer til poster på en fil.
- Et indeks svarer til et stikordsregister bag i en bog.
- Hvis indekset er sorteret er det muligt at lave binær søgning efter nøglen i indekset, og dermed kan posten findes meget hurtigt på filen.



Eksempel på et indeks til en datafil

- Indekset på personnumre er i arbejdslageret.
- Indekset er sorteret efter årstal, måned, dag og løbenummer i personnummeret.



- Posterne i filen kan placeres på en vilkårlig måde hvis blot indekset holdes sorteret efter personnummeret.
- Søgetid efter en post ud fra personnummer: $\log_2(n)$, hvor n er antallet af poster i filen.

12. Eksempler på Problemløsning med Datamater.

Sortering ved udvælgelse.
Quick sort.
Life.

Sorteringsproblemet.

Udgangspunkt: En tabel.
Forudsætning: Der findes en ordning af tabellens elementer.
Problemet: Ombyt tabellens elementer således at element 1 er mindre end eller lig med element 2, som er mindre end eller lig med element 3, ..., som er mindre end eller lig med element *Max*.

T:

1	2	3	*Max = 4*
Fornavn 'Mads'	*Fornavn* 'Lars'	*Fornavn* 'Kurt'	*Fornavn* 'Bo'
Efternavn 'Andersen'	*Efternavn* 'Hansen'	*Efternavn* 'Nørmark'	*Efternavn* 'Bramsen'
Cpr Nr. 030563-1131	*Cpr Nr.* 030963-4321	*Cpr Nr.* 050557-1235	*Cpr Nr.* 091021-3335

Sorter(T) efter *fornavn*.

T:

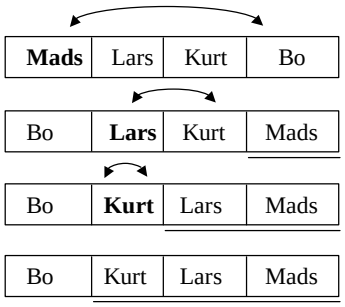
1	2	3	*Max = 4*
Fornavn 'Bo'	*Fornavn* 'Kurt'	*Fornavn* 'Lars'	*Fornavn* 'Mads'
Efternavn 'Bramsen'	*Efternavn* 'Nørmark'	*Efternavn* 'Hansen'	*Efternavn* 'Andersen'
Cpr Nr. 091021-3335	*Cpr Nr.* 050557-1235	*Cpr Nr.* 030963-4321	*Cpr Nr.* 030563-1131

Sortering ved udvælgelse.

Idé:

1. Gennemløb hele tabellen og find placeringen af det største element.
2. Ombyt det dermed fundne elmenet med det sidste, usorterede element.
3. Gentag trin 1 og 2 på gradvist mindre forender af tabellen indtil hele tabellen er sorteret.

Eksempel:



Sortering ved udvælgelse: Konstanter og typer.

```
Const   Max = 10;

Type    TabelInterval = 1 .. Max;

        TabelElement = Record
                         Fornavn: String;
                         Efternavn: String;
                         { Andre person data }
                       End;

        ArrayType = array[TabelInterval] of TabelElement;
```


Sortering ved udvælgelse: Procedurestruktur.

```
Program sortering;
{Typer og konstanter fra forrige slide}
Var T: ArrayType;

  procedure Initialiser(var T: ArrayType);

  procedure Udskriv(var T: ArrayType; fra, til: TabelInterval);

  procedure Sorter(var T: ArrayType);

     function FindMaxIndex(var T: ArrayType;
                           fra, til: TabelInterval): TabelInterval;

     procedure Ombyt(var T: ArrayType; i,j: TabelInterval);

  begin { Sorter }
    ...
  end; { Sorter }

begin { hovedprogram }
  Initialiser(T);
  Sorter(T);
  Udskriv(T,1,max)
end.
```

Sortering ved udvælgelse: Kroppen af 'sorter'.

```
procedure Sorter(var T: ArrayType);
{Sorter T i stigende orden. Sorteringen foregår ved at bytte om på elementerne i T}
var i,m: TabelInterval;

begin
  for i := max downto 2 do
  {T[i+1..max] er sorteret i stigende orden.
    T[1..i] <= T[i+1..max]}
  begin
     m := FindMaxIndex(T,1,i);
     Ombyt(T,i,m)
  end
{Postbetingelse: T[1] <= T[2] <= ... <= T[max]}
end
```


Sortering ved udvælgelse: FindMaxIndex.

```
function FindMaxIndex(var T: ArrayType;  fra, til: TabelInterval): TabelInterval;
{ Find elementet med den største værdi i T[fra..til],  og returner dets indeks }
{ Prebetingelse: 1 <= fra <= til <= max }
var  i, MaxIndex: TabelInterval;
     MaxElement: String;
begin
    MaxIndex := fra; MaxElement := T[fra].Fornavn;
    for i := fra+1 to til do
      if T[i].Fornavn > MaxElement
      then begin
              MaxElement := T[i].Fornavn;
              MaxIndex := i
           end;
  FindMaxIndex := MaxIndex
{ Postbetingelse: For alle j i intervallet [fra .. til]:   T[j] <= T[MaxIndex]}
end; { FindMaxIndex }
```

Eksempel på tabel.

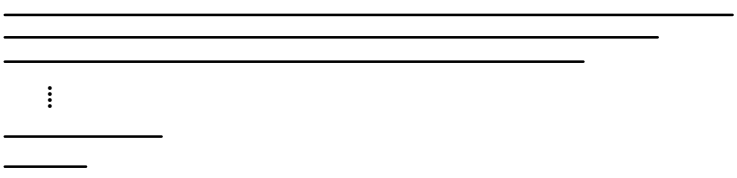
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mads	Kurt	Lars	Ib	Åse	Niels	Alberte	Mette	Albert	Bo

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Albert	Alberte	Bo	Ib	Kurt	Lars	Mads	Mette	Niels	Åse

Vurdering af sortering ved udvælgelse.

- Sortering af n elementer i en tabel kræver i størrelsesordenen $n \cdot (n+1) / 2$ 'skridt' (sammenligninger/ombytninger).
- Sortering ved udvælgelse er ikke særlig effektiv.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	$n = 10$
Mads	Kurt	Lars	Ib	Åse	Niels	Alberte	Mette	Albert	Bo



n
$n-1$
$n-2$
...
2
1

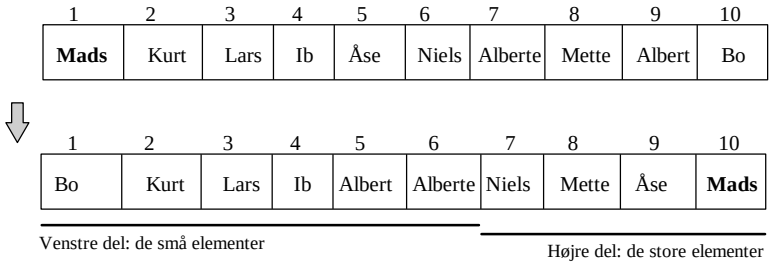
$n \cdot (n+1) / 2$

Quick sort.

Quick sort er et eksempel på en sorteringsteknik, der er betydelig mere effektiv end sortering ved udvælgelse.

Idé

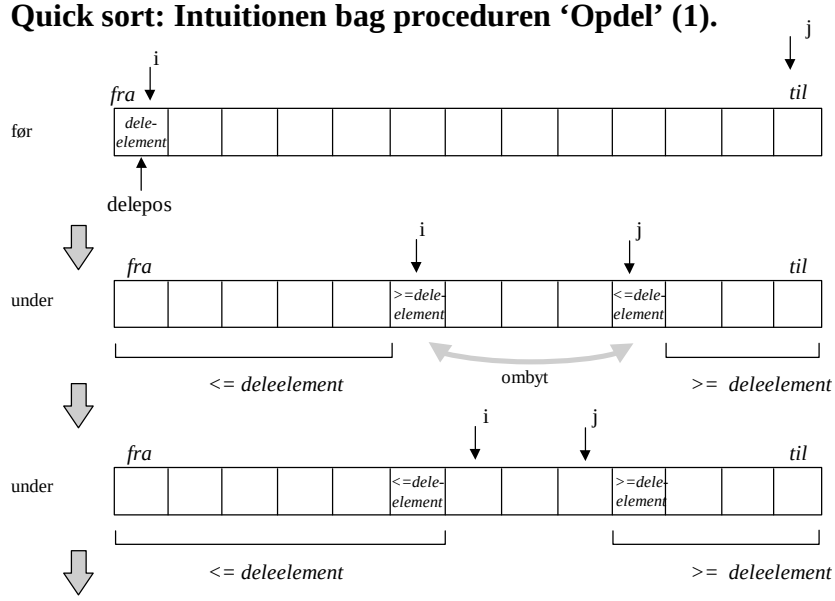
1. Udvælg et *deleelement*, f.eks. tabellens første element.
2. Reorganiser tabellen således at den består af to halvdele:
   Alle elementer i den venstre del er mindre end eller lig med deleelementet.
   Alle elementer i den højre del er større end eller lig med deleelementet.
3. Sorter både venstre og højre del af tabellen *rekursivt*, efter samme idé.



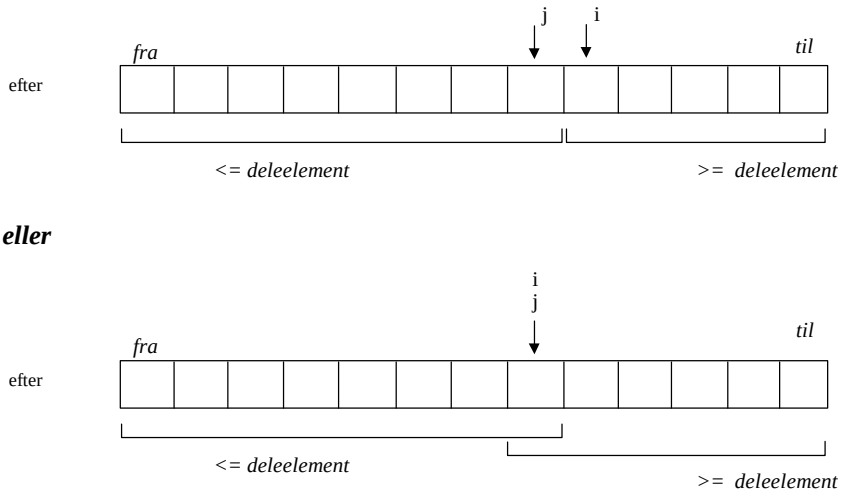
Quick sort proceduren.

```
procedure QuickSort(var T: ArrayType; fra, til: TabelInterval);
{Sorter T i stigende orden ved brug af quick sort}
var delePos1, delePos2: TabelInterval;

begin { QuickSort }
  if fra < til then
  begin
    Opdel(T, fra, til,  delePos1, delePos2);
    QuickSort(T, fra, delePos1);
    QuickSort(T, delePos2, til)
  end;
{ Postbetingelse: T[1] <= T[2] <= ... <= T[max] }
end; { QuickSort }
```

Quick sort: Intuitionen bag proceduren 'Opdel' (1).



Quick sort: Intuitionen bag proceduren 'Opdel' (2).

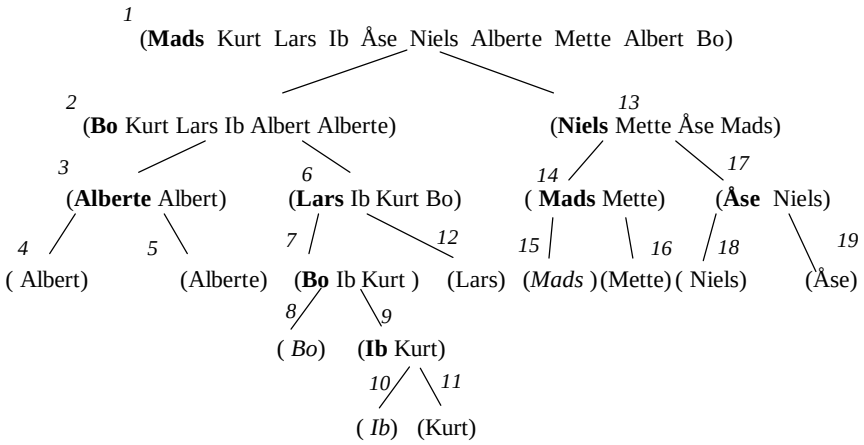


eller

Quick sort: Proceduren opdel.

```
Procedure Opdel(var T: ArrayType; fra, til: TabelInterval;
                var venstreTil, hoejreFra: TabelInterval);
{Opdel T [fra .. til] i to dele T[fra .. venstreTil] og T[hoejreFra .. til].
  Brug T[fra] som deleelement.}
{ Prebetingelse: fra < til }
var deleElement: TabelElement;
      i,j: Integer;

begin
  i := fra - 1; j := til + 1;
  deleElement := T[fra];
  repeat
     repeat i := i+1 until T[i].fornavn >= deleElement.fornavn;
     repeat j := j-1 until T[j].fornavn <= deleElement.fornavn;
     if i < j then Ombyt(T,i,j);
  until i >= j;

  if i > j then begin venstreTil := j; hoejreFra := i end
         else begin venstreTil := j-1; hoejreFra := i+1 end;
{Postbetingelse: T[fra .. venstreTil]  <= T[hoejreFra .. til] }
end;
```


Forløbet af quick sort på eksemplet.



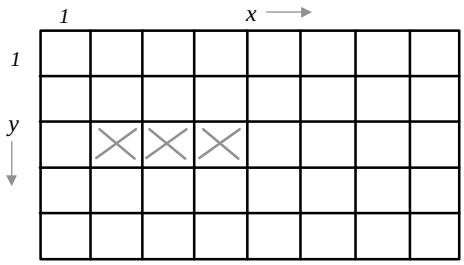
Vurdering af quick sort.

- Sotering af n elementer i en tabel kræver i størrelsesordenen $n \cdot \log_2(n)$ 'skridt' (sammenligninger/ombytninger).
- Quick sort er således meget effektiv, dog forudsat at opdelningen er hensigtsmæssig.
- I uheldige tilfælde kan Quick sort være lige så dårlig (eller dårligere) end sortering ved udvælgelse.
  - Sortering af en allerede sorteret tabel er et sådant tilfælde.
  - Et bedre valg af opdelningselement kan gøre de uheldige tilfælde meget sjældne.
- Det kan bevises at køretiden i størrelsesordenen $n \cdot \log_2(n)$ er optimal hvad angår sorteringsteknikker, der udelukkende er basert på sammenligning af elementer.

n	n^2	$n \cdot \log_2(n)$
100	10.000	664
1.000	1.000.000	9.966
10.000	100.000.000	132.887
100.000	10.000.000.000	1.660.964

Life.

Life er en simulering af, hvordan mønstre af 'levende celler' udvikler sig givet tre simple regler for, hvornår nyt liv opstår, og hvornår levende celler dør.



Levende celle

NV	N	NØ
V		Ø
SV	S	SØ

En celle har 8 naboer

Regler:

1. En levende celle med mindre end to naboer dør af isolation.
2. En levende celle med mere end tre naboer dør af overbefolkning.
3. Nyt liv opstår i en tom celle, som har netop tre levende naboer.

En abstrakt datatype: LifeVerden.

```
Type CelleStatus = (I_live,Doed);
     LifeVerden = record { Datarepræsentation } end;
     Retning = (N, NO, O, SO, S, SV,V, NV);

Procedure NulstilVerden(Var V: LifeVerden; xStr, yStr: Integer);

Function Levende(var V: LifeVerden; i,j: Integer): Boolean;
{ Returner hvorvidt felt (i,j) i verden V er levende. (i,j) kan angive
et felt uden for verden, i hvilket tilfælde resultatet er falsk }

Procedure SaetStatus(var V: LifeVerden; i,j: integer; s: CelleStatus);
{ Definer indholdet af celle (i,j) i verden V til status s. Celler uden for V forbliver døde }

Function NaboLevende(var VR: LifeVerden; i,j: Integer; r: Retning): Boolean;
{ Returner hvorvidt feltet i retning r i forhold til feltet (i,j) er levende.}

Function AntalLevendeNaboer(var VR: LifeVerden; i,j: Integer): Integer;

Procedure PrintVerden(Var V: LifeVerden);

Procedure NyGeneration(var Gammel, Ny: LifeVerden);
{ På basis af den gamle verden laves en ny verden }
```


Forløbet af en Life simulation.

```
Var V1,V2: LifeVerden;
begin  { hovedprogram }
  Lav en start situation i V1;
  repeat
     PrintVerden(V1);
     NyGeneration(V1,V2);
     V1 := V2
  until  færdig
end.
```

```
Procedure NyGeneration(var Gammel, Ny: LifeVerden);
{ På basis af den gamle verden laves en ny verden }
var i,j: integer;
begin
  NulstilVerden(Ny, Gammel xmax, Gammel ymax);
  for j:= 1 to Gammel ymax
  do for i := 1 to Gammel xmax
      do if Levende(Gammel,i,j) then
            if (AntalLevendeNaboer(Gammel,i,j) < 2) or
               (AntalLevendeNaboer(Gammel,i,j) > 3)
            then SaetStatus(Ny,i,j,Doed)
            else SaetStatus(Ny,i,j,I_live)
         else   { (i,j) i Gammel er død }
            if AntalLevendeNaboer(Gammel,i,j) = 3
            then SaetStatus(Ny,i,j,I_live)
            else SaetStatus(Ny,i,j,Doed)
end; { NyGeneration }
```

Datarepræsentation af 'LifeVerden'.

```
Const   xVerdenMax = 74;    { Øvre grænser            }
        yVerdenMax = 24;    { for størrelsen af verden }

Type    CelleStatus = (I_live,Doed);
        LifeVerden = record
                       matrix: array[1..xVerdenMax,1..yVerdenMax]
                               of CelleStatus;
                       xmax:  1..xVerdenMax;
                       ymax:  1..yVerdenMax;
                     end;
```


Funktioner der undersøger om celler er levende.

```
Function Levende(var V: LifeVerden; i,j: Integer): Boolean;
begin
   if (i < 1) or (i > V.xmax) or (j < 1) or (j > V.ymax)
   then Levende := false
   else Levende := V.matrix[i,j] = I_live
end; { Levende }
```

```
Function NaboLevende(var VR: LifeVerden;
                     i,j: Integer; r: Retning): Boolean;
begin
  case r of
    N:  NaboLevende := Levende(VR,i,j-1);
    NO: NaboLevende := Levende(VR,i+1,j-1);
    O:  NaboLevende := Levende(VR,i+1,j);
    SO: NaboLevende := Levende(VR,i+1,j+1);
    S:  NaboLevende := Levende(VR,i,j+1);
    SV: NaboLevende := Levende(VR,i-1,j+1);
    V:  NaboLevende := Levende(VR,i-1,j);
    NV: NaboLevende := Levende(VR,i-1,j-1);
  end { case }
end; { NaboLevende }
```

```
Function AntalLevendeNaboer
   (var VR: LifeVerden; i,j: Integer): Integer;
var r: Retning;
     antal: integer;
begin
  antal := 0;
  for r := N to NV do
     if NaboLevende(VR, i, j, r)
     then antal := antal + 1;
  AntalLevendeNaboer := antal
end; { AntalLevendeNaboer }
```