

## Programmeringsmetodik DV1 Programkonstruktion 1

### Moment 3 Mer om funktioner och bindingar

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Slide 1

Uppdaterad 2005-10-10

```

Minns ni kalkylatorprogrammet?
fun qadd(x,y) =
  (#1 x * #2 y + #1 y * #2 x, #2 x * #2 y)
fun qsub(x,y) =
  (#1 x * #2 y - #1 y * #2 x, #2 x * #2 y)
fun qmul(x,y) =
  (#1 x * #1 y, #2 x * #2 y)
fun qdiv(x,y) =
  (#1 x * #2 y, #2 x * #1 y)
fun qcalc(x:int*int,y:int*int,opr) =
  if opr = #"+" then
    qadd(x,y)
  else if opr = #"-" then
    qsub(x,y)
  else if opr = #"*" then
    qmul(x,y)
  else
    qdiv(x,y)

```

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Slide 2

Uppdaterad 2005-10-10

### Förvillkor

Funktioner är inte meningsfulla att anropa för alla argument. T.ex. är det inte meningsfullt att anropa division om andra argumentet är 0: `1.0/0.0`, `1 div 0` eller `qdiv(1,2)`, `(0,2)`.

Villkoren för att ett (del)program (funktion) är meningsfullt att köra kallas dess *förvillkor*.

För kalkylatorprogrammet gäller som förvillkor:

- De två ingående talens täljare och nämnare måste vara heltal. (I ML garanterar typsystemet att detta är uppfyllt, därför struntar man ofta i att ange det som uttryckligt förvillkor.)
- Inga nämnare får vara 0. (En datastrukturinvariant.)
- Vid division får det andra talets täljare inte vara 0.
- Räknesättet måste vara `"+"`, `"-"`, `"*"` eller `"/"` (också inv.)

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Slide 3

Uppdaterad 2005-10-10

### Mer exempel på förvillkor

För `String.substring` gäller som förvillkor:

- Funktionen anropas med tre argument: en sträng (s), ett heltal (p) och ytterligare ett heltal (n). (I ML garanterar typsystemet detta).
- $n \geq 0$  (Delsträngen kan inte ha negativ längd.)
- $p \geq 0$  (Man kan inte ta ut delsträngen före huvudsträngens början.)
- $p+n \leq \text{size } s$  (Man kan inte ta ut delsträngen efter huvudsträngens slut.)

Funktionerna `^`, `+` m.fl. *saknar* förvillkor (bortsett från typvillkoren) – man kan alltid sätta ihop två strängar eller addera två tal! (Egentligen är det inte sant eftersom det finns en maximal storlek för data, men i praktiken bortser man ofta från det.)

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Slide 4

Uppdaterad 2005-10-10

### Om förvillkoret inte är uppfyllt...



Den europeiska Ariane 5-raketen havererar 40 sekunder efter uppskjutningen i juni 1996.

Programvara för Ariane 4 som återanvändes i Ariane 5-projektet kunde inte arbeta korrekt med den högre hastighet som Ariane 5-raketen hade. Man hade inte beaktat *förvillkoren* för programmet!

Observera att programmet *i sig* fungerade korrekt men i ett sammanhang det inte var avsett för.

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Slide 5

Uppdaterad 2005-10-10

### Eftervillkor

En beskrivning av vad (del)programmet (funktionen) åstadkommer – dvs dess värde – är dess *eftervillkor*.

För `qcalc` gäller som eftervillkor: Värdet av `qcalc(x,y,opr)` är resultatet av att använda räkneregeln beskrivet av `opr` på de rationella talen `x` och `y`.

För `String.substring` gäller som eftervillkor: Värdet av `String.substring(s,p,n)` är en sträng som omfattar `n` tecken i följd tagna från strängen `s` med början vid position `p`.

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Slide 6

Uppdaterad 2005-10-10

### Användning av för- och eftervillkor

För- och eftervillkor kan användas i olika syften:

- För att beskriva vad ett program *skall* göra (i kravspecifikationen)
- För att beskriva vad ett program *faktiskt* gör (i programdokumentationen)

Vad programmet faktiskt gör och vad man kräver att det skall göra *kan* vara samma sak, men det är också möjligt att programmet både gör mer eller mindre (eller annorlunda) än vad man begär. (Gör programmet mindre eller annorlunda är det förstås i någon mening felaktigt.)

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Slide 7

Uppdaterad 2005-10-10

### "Design by contract"

För- och eftervillkor kan ses som ett kontrakt mellan programmet (funktionen) och den som använder (anropar) det.

Användaren lovar att uppfylla förvillkoren och programmet lovar att uppfylla eftervillkoren.

Detta betyder speciellt att om anroparen bryter sin del av avtalet (förvillkoret är inte uppfyllt) så är programmet löst från kontraktet och får bete sig *hur som helst*.

Exempel: `qcalc((1,2),(1,0),#"/")` → `(0,2)`

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Slide 8

Uppdaterad 2005-10-10

### Funktionspecifikationer

Varje funktion i inlämnde uppgifter på kursen skall inledas av en *funktionspecifikation* i form av en kodkommentar. Detta är en form av *intern programdokumentation*.

```

(* String.substring(s,p,n)
   Type: string*int*int -> string
   Pre:  0 <= p <= size(s), 0 <= n <= size(s)-p
   Post: Värdet är en delsträng av s med längd n
         och början på plats p i s.
   Ex.:  String.substring("abcd", 0, 3) = "abc"
         String.substring("abcd", 1, 2) = "bc"
         String.substring("abcd", 3, 1) = "d"
         String.substring("abcd", 4, 0) = ""
*)

```

Förkortningarna `Pre` och `Post` avser de engelska namnen på för- och eftervillkor: *pre*- resp. *postcondition*.

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Slide 9

Uppdaterad 2005-10-10

### Funktionspecifikation för qcalc

```

(* qcalc(x,y,opr)
   Type: (int*int)*(int*int)*char->(int*int)
   Pre:  x och y är rationella tal,
         opr är ett korrekt räkneregeltal,
         om opr = #"/" så får inte y vara 0.
   Post: Ett rationellt tal som är resultatet av
         räkneregeltal opr använt på x och y
   Ex.:  qcalc((1,2),(1,3),#"+" ) = (5,6)
*)

```

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Slide 10

Uppdaterad 2005-10-10

### Att tänka på:

*Förvillkoret* beskriver vilka de acceptabla argumenten är för *din funktion*. Följer argumenten förvillkoret *måste* funktionen ge meningsfullt resultat, *får inte* ge exekveringsfel etc. Däremot *får* funktionen ge meningsfulla resultat även om förvillkoret inte är uppfyllt (men då är kanske förvillkoret onödigt starkt).

*Eftervillkoret* beskriver resultatet (värdet) av att anropa funktionen. Var tydlig – inga oklara syftningar! Om du inte använder varje argumentnamn i beskrivningen är ditt eftervillkor *nästan* säkert fel. *Varför???*

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Slide 11

Uppdaterad 2005-10-10

### Defensiv programmering av qcalc

```

fun qcalc(x:int*int,y:int*int,opr) =
  if #2 x = 0 orelse #2 y = 0 then
    raise NotRational
  else if opr = #"+" then
    qadd(x,y)
  else if opr = #"-" then
    qsub(x,y)
  else if opr = #"*" then
    qmul(x,y)
  else if opr = #"/" then
    qdiv(x,y)
  else
    raise WrongOperation

```

`raise` är en funktion som *avbryter* beräkningen med felkod. Ändringar till `qdiv` beskrivs på nästa bild.....

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Slide 13

Uppdaterad 2005-10-10

### Defensiv programmering av qcalc (forts.)

```

exception NotRational
exception WrongOperation
fun qdiv(x,y) = if #1 y = 0 then
  raise Div
  else
    (#1 x * #2 y, #2 x * #1 y)

```

Felkoderna `NotRational` och `WrongOperation` måste deklaras.

Felkoden `Div` finns färdig i ML och används just för division med 0.

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Slide 14

Uppdaterad 2005-10-10

### Var skall defensiv kod läggas?

- Varför inte göra division-inte-med-0 kontrollen i `qcalc`?
- Varför inte göra rationella-tal kontrollen i `qadd,qsub,qmul,qdiv`?

Defensiv kod tar utrymme (och beräkningstid) och man vill därför göra kontrollerna så tidigt som möjligt och lämpligt.

I en sammansatt beräkning *garanteras* det att argumenten till `qadd` etc. är korrekta rationella tal om dessa funktioner uppfyller datastrukturinvarianterna och ingångsvärdena är riktiga.

Eftersom ingångsvärdena går genom `qcalc` bör kontrollen av rationella tal läggas där. Det är svårare att garantera att andra argumentet till `qdiv` inte är noll och denna kontroll bör därför ligga där.

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Slide 15

Uppdaterad 2005-10-10

### Defensiv programmering

Om förvillkoret inte är uppfyllt så kan "vad som helst" hända.

Det är upp till programmeraren att förvissa sig om att programmen aldrig kommer att anropas utan att förvillkoren är uppfyllda.

I starkt typade språk som ML kontrollerar typmekanismen i viss utsträckning förvillkoren.

Programmet kan också *själv* kontrollera indata och vrida lämplig åtgärd om förvillkoret inte är uppfyllt (t.ex. avbryta beräkningen).

Detta kallas *defensiv* programmering.

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Slide 12

Uppdaterad 2005-10-10

### Automatisk testning av defensiv kod

Minns ni de automatiserade testfallen?

```

(1, qadd((2,3),(1,4)) = (11,12));
(2, qsub((2,3),(1,4)) = (5,12));
(3, qmul((2,3),(1,4)) = (2,12));
(4, qdiv((2,3),(1,4)) = (8,3));
.....etc.....

```

På detta sätt kan man inte utan vidare testa fall som *skall* leda till att programkörningen avbryts. Testning av all kod i `qdiv`, t.ex., kräver att man kontrollerar att fallet `1/2 / 0/2` ger felkod `Div`.

Man kan då skriva testfall på formen:

```
(n, (testad kod;false) handle felkod => true);
```

T.ex.

```
(5, (qdiv((1,2),(0,2));false)handle Div=>true);
```

(Vad detta uttryck *egentligen* betyder återkommer vi till senare...)

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Slide 16

Uppdaterad 2005-10-10

## Typhärledning

ML kan (nästan alltid) avgöra typen hos en funktion själv.

- ```
fun last(s,n) = String.substring(s,size s-n,n)
```
- `String.substring` har typen `string*int*int -> string`.
  - Eftersom `s` är första argument till `String.substring` så måste `s` ha typen `string`.
  - Eftersom `n` är sista argument till `String.substring` så måste `n` ha typen `int`.
  - Därmed måste `last` ha argumenttypen `string*int`.
  - Eftersom värdet av `String.substring` också är värdet av `last` så måste `last` ha värdetypen `string`.
  - Alltså har `last` typen `string*int -> string`.

Detta kallas *typhärledning*.

PK16PM1 HT-05 moment 2 Sida 17 Uppdaterad 2005-10-10

## Misslyckad typhärledning

Om ett program är feltypat så misslyckas typhärledningen.

```
- fun last(s,n) = String.substring(s,size s-n,s);
! Toplevel input:
! fun last(s,n) = String.substring(s,size s-n,s);
!
! Type clash: expression of type
! string
! cannot have type
! int
```

Här har man av misstag gett `s` som sista argument till

- ```
String.substring.
```
- `String.substring` har typen `string*int*int -> string`.
  - `s` är 1:a argument till `String.substring` så typen är `string`.
  - `s` är 3:e argument till `String.substring` så typen är `int`.
  - `s` kan inte vara `int` och `string` samtidigt – programmet är feltypat.

PK16PM1 HT-05 moment 3 Sida 18 Uppdaterad 2005-10-10

## Oväntat resultat av typhärledning.

Varför har vi tvungna att deklarerat argumenttyperna för `qcalc`?

```
fun sumSquares(x,y) = x*x+y*y
```

\* och + är båda överlagrade och har de alternativa typlingarna `int*int->int` och `real*real->real`.

Om ML inte kan avgöra typen på aritmetiska operationer så väljer den `int!` `sumSquares` får alltså typen `int*int->int`.

Var avsikten att använda `sumSquares` på flyttal så får man typfel. Lösning: ange uttrycklig typ på något deluttryck!

```
fun sumSquares(x:real,y) = x*x+y*y
eller
fun sumSquares(x,y) = (x*x+y*y):real
```

PK16PM1 HT-05 moment 3 Sida 19 Uppdaterad 2005-10-10

## Tupler kan ge problem med typhärledning.

Varför har vi tvungna att deklarerat argumenttyperna för `qcalc`?

```
fun qcalc(x:int*int,y:int*int,opr) =
  if opr = "+" then
    qadd(x,y)
  else .....
```

Hjälpfunktionerna plockar ut 1:a och 2:a komponent ur tupler:

```
fun qadd(x,y) =
  (#1 x * #2 y + #1 y * #2 x, #2 x * #2 y)
```

ML kan inte veta om tuplerna skall ha två, tre eller flera komponenter och därför inte bestämma deras typ. Typhärledning går inte att genomföra.

Genom att på lämpligt ställe uttryckligen ange typen av indata till `int*int` försvinner problemet.

PK16PM1 HT-05 moment 3 Sida 20 Uppdaterad 2005-10-10

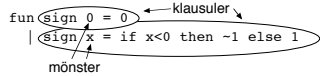
## Mönstermatchning

De flesta funktioner skrivs med kod för flera olika fall.

Den grundläggande konstruktionen för falluppdelning är `if-then-else`.

```
fun sign x =
  if x = 0 then 0 else if x < 0 then -1 else 1
```

Falluppdelning som jämför argument med konstanter kan göras direkt i funktionsuttrycket



När funktionen anropas går ML igenom klausulerna i tur och ordning och ser vilken den första klausul där argumenten "passar".

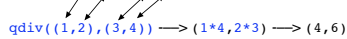
PK16PM1 HT-05 moment 3 Sida 21 Uppdaterad 2005-10-10

## Matchning av sammansatta datatyper

Matchning kan också göras över formen på tupler.

Identifierare binds till komponenterna i tuplerna.

```
Tag t.ex. (ickedefensiva) qdiv. Denna funktion kan skrivas
fun qdiv((x1,x2),(y1,y2)) = (x1*y2,x2*y1)
```



`x1`, `x2`, `y1` och `y2` byts ut mot respektive 1, 2, 3 och 4.

I praktiken använder man oftast (där det är möjligt) denna metod (snarare än #) för att komma åt komponenter i tupler eftersom det ger mycket mer lättläst kod.

Dessutom slipper man oklarheter kring antalet element i tuplerna – det blir helt klart att varje tupel innehåller 2 komponenter.

PK16PM1 HT-05 moment 3 Sida 22 Uppdaterad 2005-10-10

## Funktioner med flera argument har bara ett

Funktioner i ML har egentligen alltid ett argument.

Om funktionen ser ut att ha flera argument, t.ex.

```
fun last(s,n) = .....
last("Hägg", 3) -> "ägg"
```

...så konstrueras vid anropet egentligen en tupel av argumenten och skickas som ett argument till funktionen. Formen hos de formella argumenten i funktionsdefinitionen är egentligen bara mönstermatchning i funktionens enda riktiga argument.

Funktionstypen `string*int -> string` i detta exempel visar också det – argumentet är en `string*int`-tupel. Av praktiska skäl säger man ofta ändå att `last` har två argument.

PK16PM1 HT-05 moment 3 Sida 23 Uppdaterad 2005-10-10

## Se upp med matchning 2

När man använder matchning mot datatyper där värdena är i form av identifierare (t.ex. `bool`) kan små felskrivningar ge syntaktiskt korrekta program med helt anorolunda beteenden!

```
fun boolName true = "Sant"
  | boolName false = "Falskt"
```

```
boolName true -> "Sant"
boolName false -> "Falskt"
```

Låt oss göra en liten felskrivning:

```
fun boolName true = "Sant"
  | boolName false = "Falskt"
```

```
boolName true -> "Sant"
boolName false -> "Sant" Varför??
```

PK16PM1 HT-05 moment 3 Sida 27 Uppdaterad 2005-10-10

## Se upp med matchning 3

Vid ett funktionsanrop måste argumenten matcha någon klausul:

```
fun nameToBool "Sant" = true
  | nameToBool "Falskt" = false
```

```
nameToBool "Sant" -> true
nameToBool "Falskt" -> false
nameToBool "Kanske" -> exekveringsfel (Match)
```

I detta fall får man en varning när funktionen definieras.

```
- fun nameToBool "Sant" = true
  | nameToBool "Falskt" = false;
! Toplevel input:
! ...nameToBool "Sant" = true
! | nameToBool "Falskt" = false.
! Warning: pattern matching is not exhaustive
> val nameToBool = fn : string -> bool
```

PK16PM1 HT-05 moment 3 Sida 28 Uppdaterad 2005-10-10

## "Catchall"-klausuler

För att undvika exekveringsfel pga att ingen klausul matchar kan man lägga in en sista klausul som säkert matchar alla argument:

```
fun talNamn 1 = "Ett"
  | talNamn 2 = "Två"
  | talNamn 3 = "Tre"
  | talNamn _ = "Många"
```

Eller t.o.m.

```
fun talNamn 1 = "Ett"
  | talNamn 2 = "Två"
  | talNamn 3 = "Tre"
  | talNamn x = if x <= 0 then
    "Lite"
  else
    "Många"
```

PK16PM1 HT-05 moment 3 Sida 29 Uppdaterad 2005-10-10

## Kalkylatorprogrammet med matchning

```
fun qadd((x1,x2),(y1,y2)) =
  (x1*y2 + y1*x2, x2*y2)
```

```
fun qsub((x1,x2),(y1,y2)) =
  (x1*y2 - y1*x2, x2*y2)
```

```
fun qmul((x1,x2),(y1,y2)) =
  (x1*y1, x2*y2)
```

```
fun qdiv((x1,x2),(y1,y2)) =
  (x1*y2, x2*y1)
```

```
fun qcalc(x,y,#"+") = qadd(x,y)
  | qcalc(x,y,#"-") = qsub(x,y)
  | qcalc(x,y,#"*") = qmul(x,y)
  | qcalc(x,y,#"/") = qdiv(x,y)
```

Fördelar: Mycket mera läsligt.

Entydiga tupeltyper – typdeklarerationer behövs inte.

Nackdel: Namngivna konstanter kan inte användas. (Varför?)

PK16PM1 HT-05 moment 3 Sida 30 Uppdaterad 2005-10-10

## Defensivt kalkylatorprogram med matchning

Endast de funktioner som skiljer från förra bild...

```
exception NotRational
fun qdiv(_,(0,_)) = raise Div
  | qdiv((x1,x2),(y1,y2)) = (x1*y2, x2*y1)
```

```
fun qcalc(_,(0,_)) = raise NotRational
  | qcalc(_,(0,_)) = raise NotRational
  | qcalc(x,y,#"+") = qadd(x,y)
  | qcalc(x,y,#"-") = qsub(x,y)
  | qcalc(x,y,#"*") = qmul(x,y)
  | qcalc(x,y,#"/") = qdiv(x,y)
```

Felaktigt räknasätt upptäcks genom att ingen klausul matchar.

Man kunde också ha lagt till en speciell klausul sist i `qcalc`, t.ex.

```
| qcalc(_,_,"") = raise WrongOperation
```

PK16PM1 HT-05 moment 3 Sida 31 Uppdaterad 2005-10-10

## Funktions-specifikationer och matchning

(\* `qdiv(x,y)`  
Type: `(int*int)*(int*int)->(int*int)`  
Pre: `x` och `y` är rationella tal. `y` är inte noll.  
Post: Kvoten av `x` och `y`

```
*) fun qdiv((x1,x2),(y1,y2)) = (x1*y2,y1*x2)
  | qdiv(_,(0,_)) = raise Div
```

Namnen `x` och `y` används här för att referera till argumenten *inom* funktions-specifikationerna. De har ingenting att göra med namnen på formella argument i funktionsdeklarationen! Det behövs inte ens vara samma namn – se på koden i exemplet.

Ibland ser man specifikationer som:

```
Pre: (x1,x2) och (y1,y2) är rationella tal.
(0,_) är inte noll.
```

Detta är *fel!!!*

PK16PM1 HT-05 moment 3 Sida 32 Uppdaterad 2005-10-10

## Case-uttryck

Matchning väljer olika fall beroende på argumenten till en funktion. Matchning kan också användas för att välja olika fall beroende på värdet av ett uttryck.

```
fun dumMultiplikation(x,y) =
  case x*y of
  1 => "Ett"
  2 => "Två"
  3 => "Tre"
  4 => "Fyra"
  _ => "Mycket"
```

```
dumMultiplikation(2,2) -> "Fyra"
dumMultiplikation(2,3) -> "Mycket"
```

Liksom i if-then-else så beräknas inte uttrycken i case-klausulerna förrän man vet vilket alternativ som valts.

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Sida 33

Uppdaterad 2005-10-10

## Bindning i case-mönster

```
fun pratsamMultiplikation(x,y) =
  case x*y of
  1 => "Ett"
  2 => "Två"
  3 => "Tre"
  4 => "Fyra"
  z => Int.toString z ^ "."
pratsamMultiplikation(2,3)
-> case 2*3 of 1 => "Ett" | 2 => "Två" | .....
-> case 6 of 1 => "Ett" | 2 => "Två" | .....
-> Int.toString 6 ^ "."
-> "6 ^ ."
```

Identifierare i mönstren byts alltså ut i klausulerna mot uttrycket efter case på liknande sätt som bundna identifierare byts mot argumenten i funktionsanrop.

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Sida 34

Uppdaterad 2005-10-10

## Bindningsräckvidd

Vi har sagt att bundna variabler i funktionskroppen byts ut mot respektive aktuella argument när en funktion anropas. I verkligheten är det lite mer komplicerat.

```
fun pratsamMultiplikation2(x,y) =
  (case x*y of
  1 => "Ett"
  2 => "Två"
  3 => "Tre"
  4 => "Fyra"
  x => Int.toString x) ^ "."
```

Vid ett anrop pratsamMultiplikation(2,3) byts *inte* x ut mot 2 i den sista case-klausulen. Bindningen av x i case-uttrycket *skuggar* den första bindningen. *Räckvidden* för bindningen av x i funktionsdefinitionen innehåller inte sista case-klausulen.

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Sida 35

Uppdaterad 2005-10-10

## Vad händer om variabler binds igen?

```
fun pratsamMultiplikation2(x,y) =
  (case x*y of
  1 => "Ett"
  2 => "Två"
  3 => "Tre"
  4 => "Fyra"
  x => Int.toString x) ^ "."
pratsamMultiplikation(2,3)
-> (case 2*3 of ... x => Int.toString x) ^ "."
-> (case 6 of ... x => Int.toString x) ^ "."
-> Int.toString 6 ^ "."
-> "6 ^ ."
```

Den nya bindningen av x *skuggar* den gamla. *Räckvidden* av det *första* x omfattar *inte* Int.toString x.

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Sida 36

Uppdaterad 2005-10-10

## Bindningsomgivningar

Ett annat sätt att förklara bindningar som bättre stämmer överens med vad som faktiskt händer i datorn är med *bindingsomgivningar*. Istället för att byta ut bundna variabler vid anrop (case-satser) håller man redan på bindningarna och byter när variabeln skall beräknas.

```
pratsamMultiplikation(2,3)
-> (case x*y of ...) ^ "." [x->2, y->3]
-> (case 2*y of ...) ^ "." [x->2, y->3]
-> (case 2*3 of ...) ^ "." [x->2, y->3]
-> (Int.toString x [x->2, y->3]) ^ "." [x->2, y->3]
-> (Int.toString 6 [x->2, y->3]) ^ "." [x->2, y->3]
-> "6 ^ ."
```

*Bindningsomgivningen* [x->2, y->3] (inte en del av ML-syntaxen!) anger att x och y tillfälligt är bundna till heltalen 2 och 3.

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Sida 37

Uppdaterad 2005-10-10

## Bindningsordningen är viktig

Alla namn (inklusive funktioner) måste bindas *innan* de används.

Har man skrivit funktionen add1 med definitionen

```
fun add1 x = x+1
och add2 med definitionen
fun add2 x = add1(add1 x)
```

Så *måste* add2 definieras *efter* add1 – annars klagar ML på att add1 är obunden.

```
- fun add2 x = add1(add1 x);
! Toplevel input:
! fun add2 x = add1(add1 x);
!
! Unbound value identifier: add1
```

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Sida 38

Uppdaterad 2005-10-10

## Bindning är inte tilldelning

En ombindning av ett namn *skuggar* ev. tidigare bindningar av namnet, men *ändrar dem inte*.

```
- val x = 2;          x binds.
> val x = 2 : int
- fun addx n = n+x    x är en fri variabel i addx.
> val addx = fn : int -> int
- addx 0;
> val it = 2 : int
- val x = 4 : int    x binds om...
- addx 0;
> val it = 2 : int   men det påverkar inte addx!
```

addx använder den definition av x som gällde när addx själv definierades! Skall ombindningen av x märkas vid anrop av addx måste även addx definieras om.

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Sida 39

Uppdaterad 2005-10-10

## Bindning är inte tilldelning (forts.)

Samma sak gäller ändring av funktionsdefinitioner.

```
- fun add1 x = x+2;          ...slant på tangentbordet...
> val add1 = fn : int -> int
- fun add2 x = add1(add1 x);
> val add2 = fn : int -> int
- add2 3;
> val it = 7 : int          ...hoppсан...
- fun add1 x = x+1;        Rättad definition.
> val add1 = fn : int -> int
- add1 3;
> val it = 4 : int
- add2 3;
> val it = 7 : int        Fortfarande fell
```

Även add2 måste definieras om när add1 ändras... Lösning på detta problem: Ändra inte en funktion direkt i Moscow ML, utan lägg programmet i en fil och läs in hela filen efter ändring.

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Sida 40

Uppdaterad 2005-10-10

## Funktionsvärda uttryck

Funktioner i ML är "första klassens objekt" och kan *beräknas* med t.ex. if-then-else precis som andra värden. Alternativt gcalc:

```
fun gcalc(x,y,opr) =
  (if opr = #"+" then
   qadd
  else if opr = #"-" then
   qsub
  else if opr = #"*" then
   qmul
  else
   qdiv) (x,y)
```

```
gcalc((1,2),(1,3),#"+")
-> (if #"+" = #"+" then qadd else...)((1,2),(1,3))
-> (if true then qadd else ...) ((1,2),(1,3))
-> qadd((1,2),(1,3))
-> (5,6)
```

PK1&PM1 HT-05 moment 2

Sida 41

Uppdaterad 2005-10-10

## Anonyma funktioner

Man kan skriva funktionsuttryck *direkt* där de skall användas utan separat definition – en *anonym funktion*. Detta är ibland praktiskt.

```
(fn x => x*x) 4 -> 4*4 -> 16
```

Vi utvidgar gcalc med medelvärdesoperation (a), men utan att definiera någon separat funktion för beräkningen:

```
fun gcalc(x,y,opr) =
  (if opr = #"a" then
   (fn (x,y) => qdiv(qadd(x,y),(2,1))
   else if opr = #"+" then
   qadd
   .....) (x,y)
```

```
gcalc((1,2),(3,2),#"a") -> (8,8)
```

(Argumentnamnen till den anonyma funktionen, x och y, är samma som i huvudfunktionen. Vilken är räckvidden? Problem? Lämpligt?)

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Sida 42

Uppdaterad 2005-10-10

## Funktionstyper är inte likhetstyper

Man kan inte jämföra om två funktionsvärden med = eller <!

Anledningen är att det kan vara mycket svårt – ja principielt omöjligt – att avgöra om två funktioner är lika. Är t.ex.

```
(fn x => 2*x) = (fn x => if x<0 then x*2 else x+x)
```

..ja, det är det, men hur skall man kunna veta det?

(Att man i allmänhet inte kan avgöra ifall två funktioner är lika är ett fundamentalt resultat som Turing visade.)

Av liknande skäl kan man inte få ett funktionsvärde utskrivet – ML svarar bara fn – och med typen förstås.

```
- gcalc;
> val it = fn : (int*int)*(int*int)*char->int*int
```

PK1&PM1 HT-05 moment 2

Sida 43

Uppdaterad 2005-10-10

## Indentering

En god *indentering* är mycket viktigt för att få läsbara program!

```
fun namn monster1 = uttryck1
  | namn monster2 = uttryck2
  ...
  | namn monsterN = uttryckN

if test1 then case uttryck0 of
  uttryck1   | monster1 => uttryck1
else if test2 then
  uttryck2   | monster2 => uttryck2
...
  | monsterN => uttryckN

else
  uttryckN

Är uttrycken stora kan de skrivas indragna på nästa rad, t.ex.
fun namn monster1 = case uttryck0 of
  uttryck1         | monster1 =>
  uttryck1
```

PK1&PM1 HT-05 moment 2

Sida 44

Uppdaterad 2005-10-10

## Kodningsstandard

I många sammanhang använder man en *kodningsstandard* som ger anvisningar för hur program skall skrivas.

I kursen har vi en kodningsstandard som består av två delar:

- Krav på att ha funktions-specifikationer enligt tidigare beskrivning.
- Krav på att indentera program enligt föregående bild.

Syftet med kodningsstandarderna är att

- Se till att grundläggande programdokumentation finns
- Underlätta för assistenterna när de skall rätta uppgifter
- Lära er arbeta med kodningsstandarder

Kodningsstandarderna beskrivs på kurswebben (välj "Kodningsstandard" från menyn till vänster.)

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Sida 45

Uppdaterad 2005-10-10

## Syntaktiskt socker

```
if B then E1 else E2
är exakt samma sak som
case B of true => E1 | false => E2
```

```
case E of P1=>E1 | P2=>E2 | ... | Pn=>En
är exakt samma sak som
```

```
(fn P1=>E1 | P2=>E2 | ... | Pn=>En) E
```

```
fn P1=>E1 | P2=>E2 | ... | Pn=>En
är exakt samma sak som
```

```
fn x => case x of P1=>E1 | P2=>E2 | ... | Pn=>En
```

Med syntaktiskt socker menas att man inför en form av uttryck som är ett enklare sätt att uttrycka något som redan finns i språket.

if-then-else är onödig och case och funktionsmatchning utbytbara!

PK1&PM1 HT-05 moment 3

Sida 46

Uppdaterad 2005-10-10