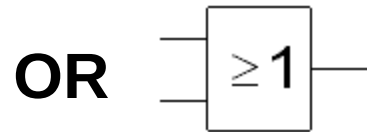


Mintermer



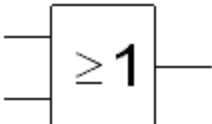
	x_1	x_0	f
0	0	0	0
1	0	1	1
2	1	0	1
3	1	1	1

En minterm är en produktterm som innehåller **alla** variabler och som anger den kombination av 1:or och 0:or som tillsammans gör att termen antar värdet 1.

SP-form med tre mintermer.

$$f = \sum m(1,2,3) = \bar{x}_1 x_0 + x_1 \bar{x}_0 + x_1 x_0$$

Minimering med boolesk algebra

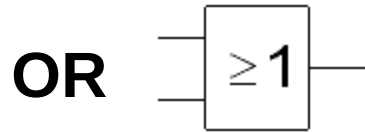
OR  $f = \sum m(1,2,3) = \bar{x}_1 \bar{x}_0 + x_1 \bar{x}_0 + x_1 x_0$

	x_1	x_0	f
0	0	0	0
1	0	1	1
2	1	0	1
3	1	1	1

**Förenkling med
boolesk algebra**

$$\begin{aligned}
 &= \bar{x}_1 \bar{x}_0 + x_1 (\bar{x}_0 + x_0) = \\
 &= \bar{x}_1 \bar{x}_0 + x_1 (1 + \text{vsh}) = \\
 &= \bar{x}_1 \bar{x}_0 + x_1 (1 + x_0) = \\
 &= \bar{x}_1 \bar{x}_0 + x_1 + x_1 x_0 = \\
 &= x_0 (\bar{x}_1 + x_1) + x_1 = \\
 &= \boxed{x_0 + x_1} \quad \text{Som väntat!}
 \end{aligned}$$

Maxterms



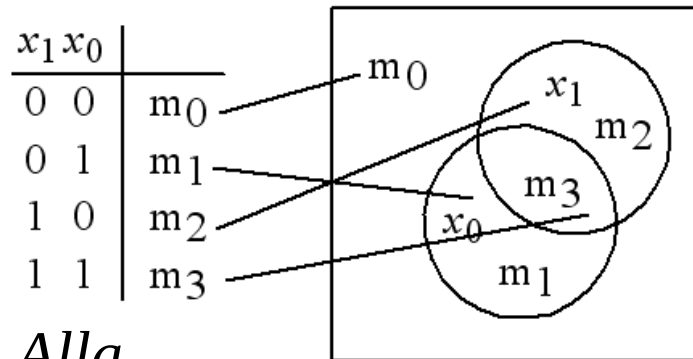
	x_1	x_0	f
0	0	0	0
1	0	1	1
2	1	0	1
3	1	1	1

En maxterm är en summafaktor som innehåller **alla** variabler och som anger den kombination av 1:or och 0:or som tillsammans gör att faktorn antar värdet 0.

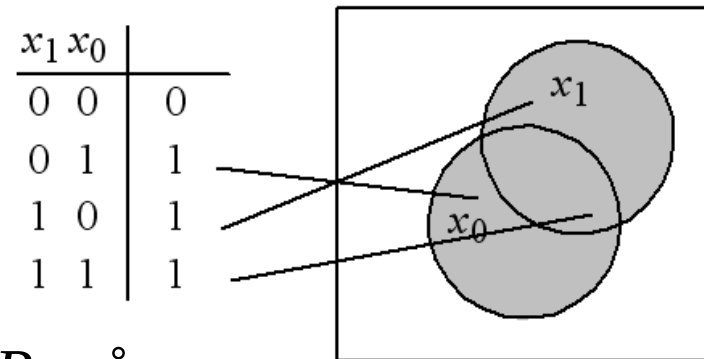
$$f = \prod M(0) = x_0 + x_1$$

Denna gång fick vi det enkla uttrycket med en maxterm direkt!

OR Venn-diagram



*Alla
mintermer*



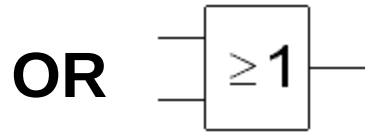
*OR, några av
mintermerna*

$$\bar{x}_1 x_0 + x_1 \bar{x}_0 + x_1 x_0$$

$$(x_0 + x_1)$$

I ett Venn-diagram kan man se att en funktion kan uttryckas på en mängd olika sätt, men det är *inte lätt* att se vad som är optimalt. En annan fråga är också hur man kan rita Venn-diagram för mer än tre variabler ???

Grafisk minimeringsmetod



	x_1	x_0	f
0	0	0	0
1	0	1	1
2	1	0	1
3	1	1	1

$x_1 \backslash x_0$	0	1
0	0	1
1	1	1

$x_1 \backslash x_0$	0	1
0	m_0	m_1
1	m_2	m_3

$$\boxed{m_2 + m_3} = x_1 \bar{x}_0 + x_1 x_0 =$$

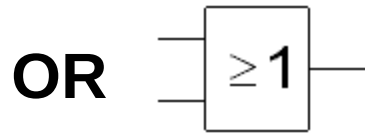
$$= x_1 (\bar{x}_0 + x_0) = \boxed{x_1}$$

$$\boxed{m_1 + m_3} = \bar{x}_1 x_0 + x_1 x_0 =$$

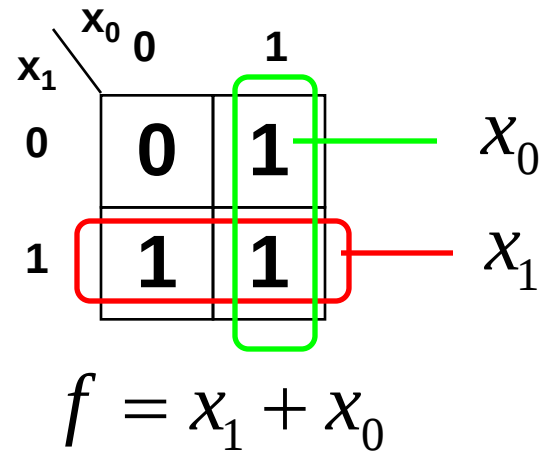
$$= x_0 (\bar{x}_1 + x_1) = \boxed{x_0}$$

$$f = x_1 + x_0$$

Grafisk minimeringsmetod



	x_1	x_0	f
0	0	0	0
1	0	1	1
2	1	0	1
3	1	1	1



Gör "hoptagningar" av par av rutor med 1:or (horisontellt eller vertikalt), behåll de variabler i produktermerna som är gemensamma.

Grindfunktioner på grafisk form

AND

	x_0	0	1
x_1	0	0	0
1	0	0	1

$$x_1 \cdot x_0$$

OR

	x_0	0	1
x_1	0	0	1
1	1	1	1

$$x_1 + x_0$$

XOR

	x_0	0	1
x_1	0	0	1
1	1	1	0

$$\overline{x_1}x_0 + x_1\overline{x_0}$$

NAND

	x_0	0	1
x_1	0	1	1
1	1	1	0

$$\overline{x_1} + \overline{x_0} \quad \{dM\} \quad \overline{x_1 \cdot x_0}$$

NOR

	x_0	0	1
x_1	0	1	0
1	0	0	0

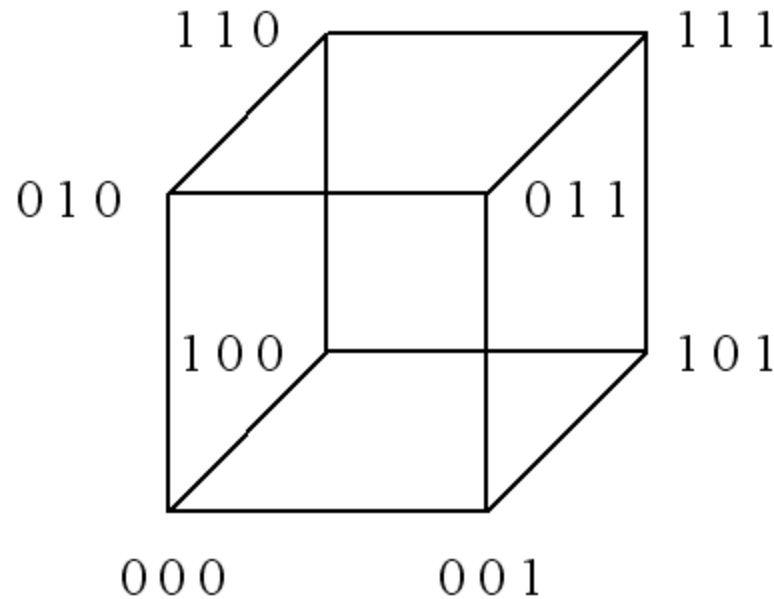
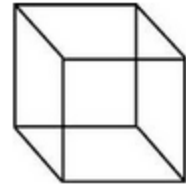
$$\overline{x_1} \cdot \overline{x_0} \quad \{dM\} \quad \overline{x_1 + x_0}$$

XNOR

	x_0	0	1
x_1	0	1	0
1	0	0	1

$$\overline{x_1}x_0 + x_1\overline{x_0}$$

3D boolesk talrymd



Kubens hörn är kodade med Gray-kod.
För hörn som är "grannar" är det bara skillnad i en variabel.

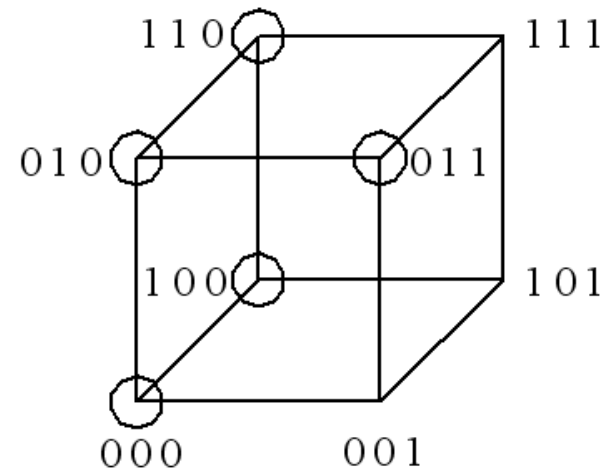
ÖH 3.4 kubrepresentation

$$f(x_2, x_1, x_0) = \sum m(0, 2, 3, 4, 6) =$$

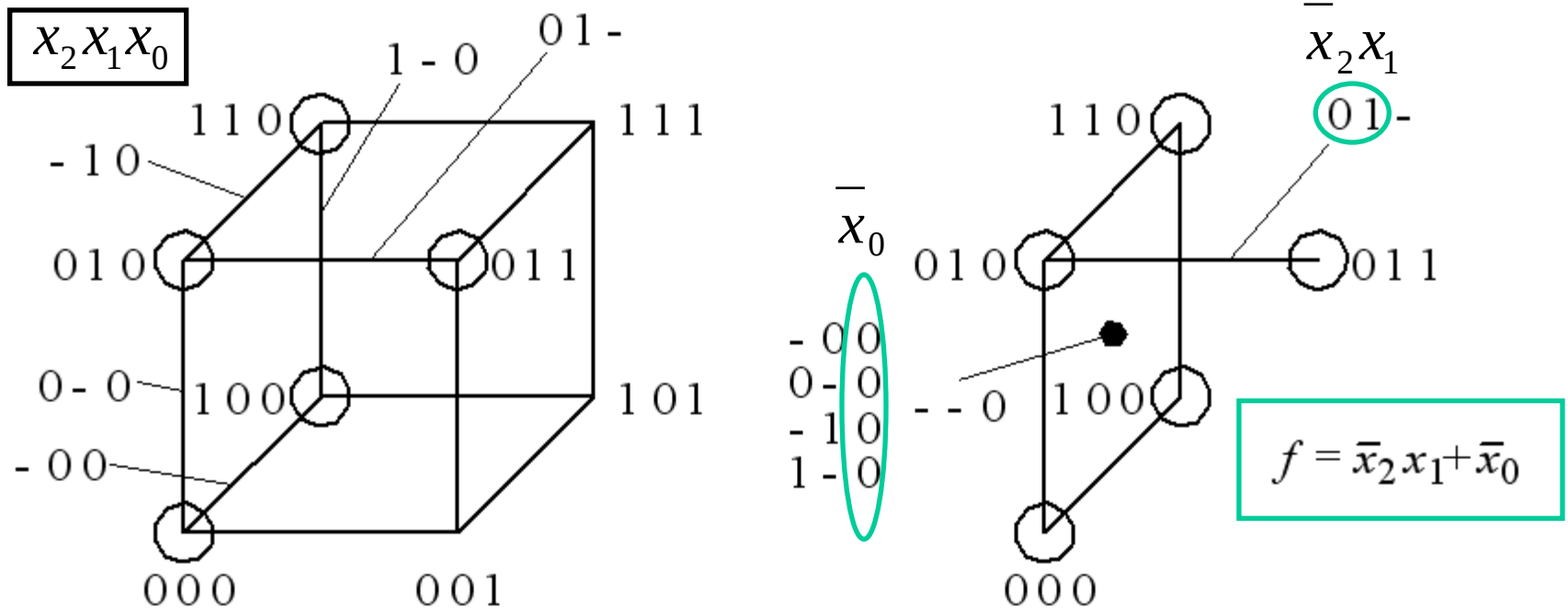
$$= \bar{x}_2 \bar{x}_1 \bar{x}_0 + \bar{x}_2 \bar{x}_1 x_0 + \bar{x}_2 x_1 x_0 + x_2 \bar{x}_1 \bar{x}_0 + x_2 x_1 \bar{x}_0$$

Så här representerar man en funktion av tre variabler, som en 3D kub med Gray-kodade hörn.

$x_2 x_1 x_0$	
0 0 0	1 $\bar{x}_2 \bar{x}_1 \bar{x}_0$
0 0 1	0
0 1 0	1 $\bar{x}_2 x_1 \bar{x}_0$
0 1 1	1 $\bar{x}_2 x_1 x_0$
1 0 0	1 $x_2 \bar{x}_1 \bar{x}_0$
1 0 1	0
1 1 0	1 $x_2 x_1 \bar{x}_0$
1 1 1	0



ÖH 3.4 minimering med kub



En **yta** representeras av **en** variabel, en **sida** av en produktterm med **två** variabler, och ett **hörn** en minterm med **tre** variabler. Kub-metoden kan generaliseras till "**Hyperkuber**" med godtyckligt antal variabler.

Hyperkuber

**Ett hörn är en 0-dimension subspace,
en sida kallas för en 1-dimension subspace,
en yta kallas för en 2-dimension subspace,
en kub kallas för en 3-dimension subspace...**

**Det finns minimeringsmetoder för
hyperkuber, och de går att tillämpa för
valfritt antal variabler! Metoderna med
hyperkuber är lämpade för datoralgoritmer.**

Graykoden är en speglad binärkod

**Man kan lätt ta fram den
Graykod med ett godtyckligt
antal bitar som behövs för att
numrera ”hyperhörnen” i
”hyperkuber” med!**

Graykoden är en speglad binärkod

⁰
1

**Man kan lätt ta fram den
Graykod med ett godtyckligt
antal bitar som behövs för att
numrera ”hyperhörnen” i
”hyperkuber” med!**

Graykoden är en speglad binärkod

$\begin{array}{r} 0 \\ 1 \\ \hline 1 \\ 0 \end{array}$

**Man kan lätt ta fram den
Graykod med ett godtyckligt
antal bitar som behövs för att
numrera ”hyperhörnen” i
”hyperkuber” med!**

Graykoden är en speglad binärkod

00
01
11
10

**Man kan lätt ta fram den
Graykod med ett godtyckligt
antal bitar som behövs för att
numrera ”hyperhörnen” i
”hyperkuber” med!**

Graykoden är en speglad binärkod

00
01
11
10
10
11
01
00

**Man kan lätt ta fram den
Graykod med ett godtyckligt
antal bitar som behövs för att
numrera ”hyperhörnen” i
”hyperkuber” med!**

Graykoden är en speglad binärkod

000
001
011
010
110
111
101
100

**Man kan lätt ta fram den
Graykod med ett godtyckligt
antal bitar som behövs för att
numrera ”hyperhörnen” i
”hyperkuber” med!**

Graykoden är en speglad binärkod

```
000
001
011
010
110
111
101
100
100
101
111
110
010
011
001
000
```

**Man kan lätt ta fram den
Graykod med ett godtyckligt
antal bitar som behövs för att
numrera "hyperhörnen" i
"hyperkuber" med!**

Graykoden är en speglad binärkod

0000
0001
0011
0010
0110
0111
0101
0100
1100
1101
1111
1110
1010
1011
1001
1000

**Man kan lätt ta fram den
Graykod med ett godtyckligt
antal bitar som behövs för att
numrera ”hyperhörnen” i
”hyperkuber” med!**

Graykoden är en speglad binärkod

```
0000
0001
0011
0010
0110
0111
0101
0100
1100
1101
1111
1110
1010
1011
1001
1000
1000
1001
1011
1010
1110
...
```

**Man kan lätt ta fram den
Graykod med ett godtyckligt
antal bitar som behövs för att
numrera ”hyperhörnen” i
”hyperkuber” med!**

Graykoden är en speglad binärkod

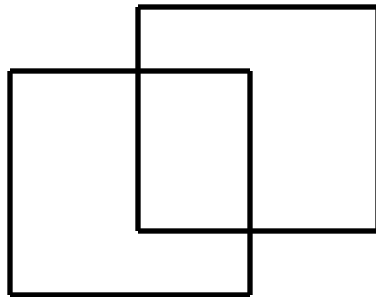
```
00000
00001
00011
00010
00110
00111
00101
00100
01100
01101
01111
01110
01010
01011
01001
01000
11000
11001
11011
11010
11110
...
```

**Man kan lätt ta fram den
Graykod med ett godtyckligt
antal bitar som behövs för att
numrera ”hyperhörnen” i
”hyperkuber” med!**

Och så vidare ...

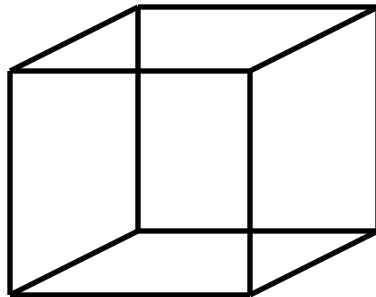
Hur ritar man en 3D-kub?

Man ritar två st 2D-kuber (= kvadrater), och sammanbinder sedan deras hörn.



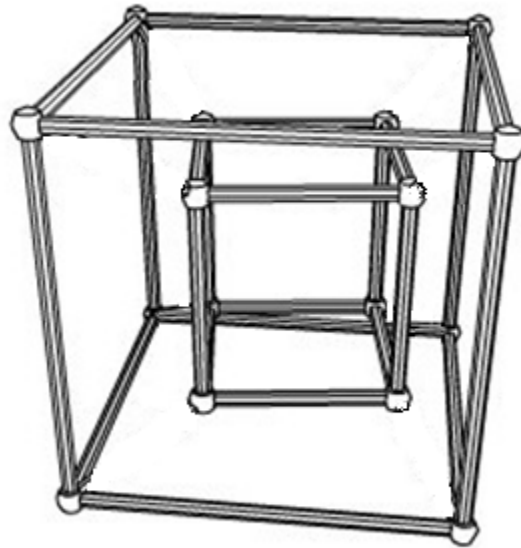
Hur ritar man en 3D-kub?

Man ritar två st 2D-kuber (= kvadrater), och sammanbinder sedan deras hörn.



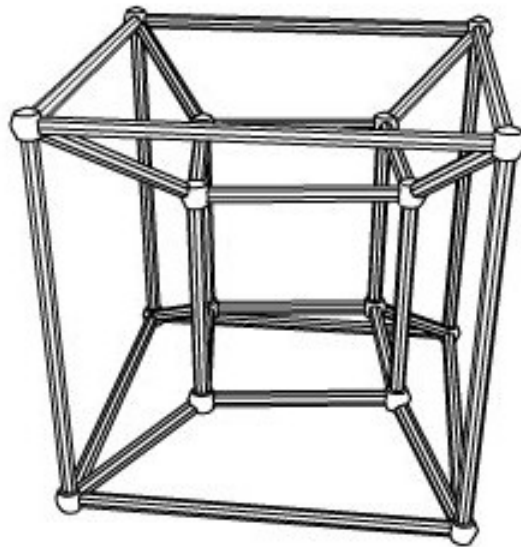
Hur ritar man en 4D-kub?

Man ritar *två* st 3D-kuber (kuber), och sammanbinder sedan deras hörn.



Hur ritar man en 4D-kub?

Man ritar *två* st 3D-kuber (kuber), och sammanbinder sedan deras hörn.

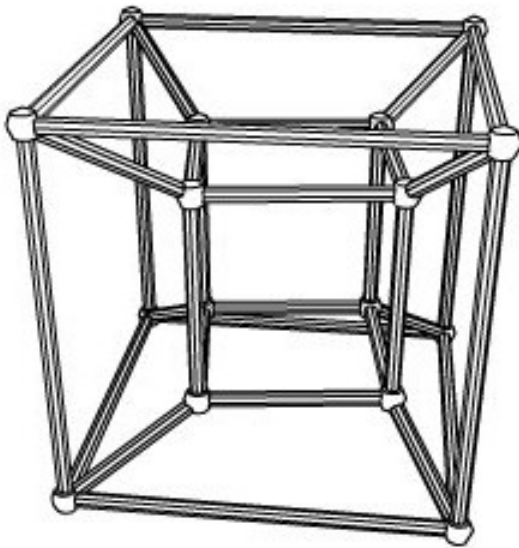


4D-kuben i Paris

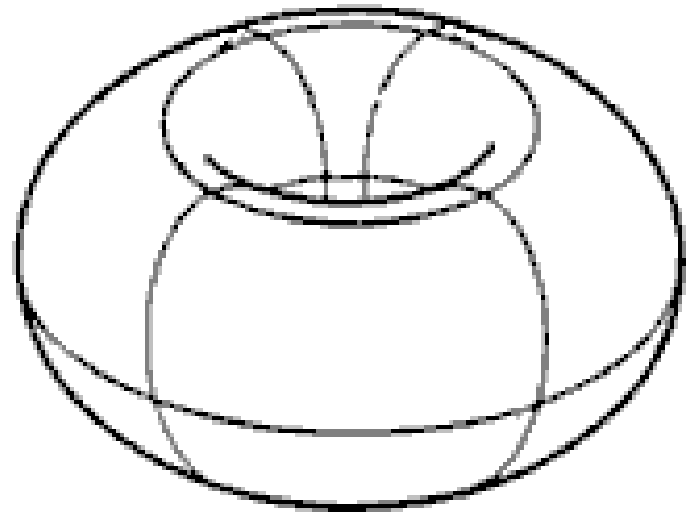


William Sandqvist william@kth.se

4D-Donut



$\equiv$



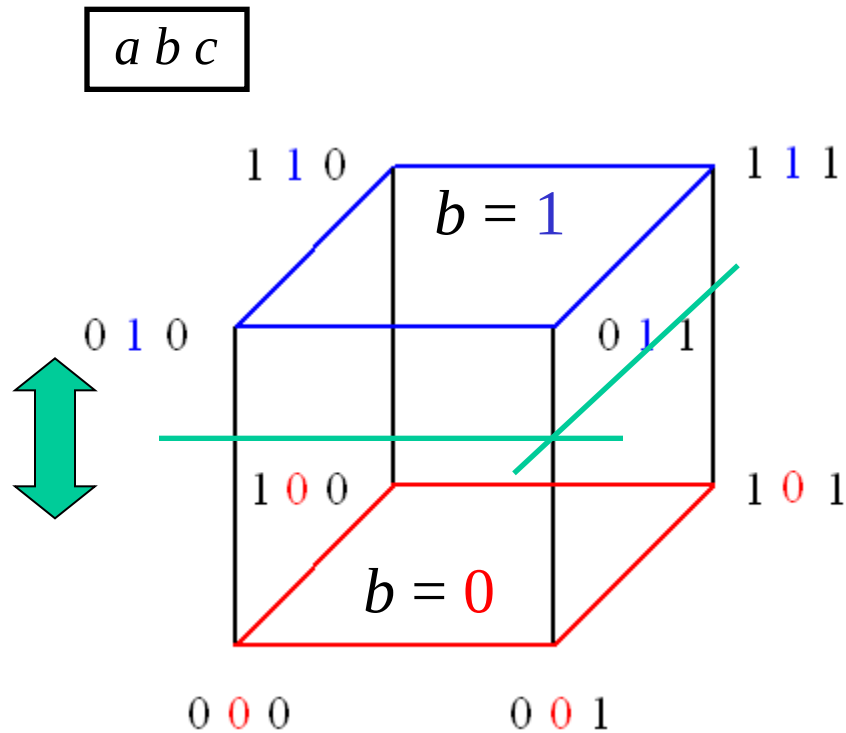
4D-hyperkuben kan också representeras med en toroid, en donut.

4D-kuber i USA



William Sandqvist william@kth.se

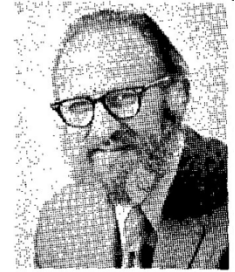
3D-Kub $\Rightarrow$ 2D-diagram



Gray-kod $\rightarrow$ spegla

$a \backslash b \ c$	00	01	11	10
0	000	001	011	010
1	100	101	111	110

Karnaugh-diagrammet



Grafisk metod för minimering ”med
papper och penna” av mindre
booleska funktioner
(för upp till sex variabler)

Maurice Karnaugh

(The Map for Synthesis of Combinational Logic
Circuits, AIEE, Nov. 1953)

En funktion av fyra variabler a b c d

Sanningstabellen med 11 st 1:or och 5 st 0:or.

Funktionen kan ut-tryckas på SP-form med 11 st mintermer eller på PS-form med 5 st maxtermer.

	abcd	f
0	0000	1
1	0001	1
2	0010	1
3	0011	1
4	0100	1
5	0101	1
6	0110	1
7	0111	1
8	1000	1
9	1001	0
10	1010	1
11	1011	0
12	1100	0
13	1101	1
14	1110	0
15	1111	0

$$f(a,b,c,d) = \sum (0,1,2,3,4,5,6,7,8,10,13)$$

$$f = \bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d} + \bar{a}\bar{b}\bar{c}d + \bar{a}\bar{b}c\bar{d} + \bar{a}\bar{b}cd + \bar{a}b\bar{c}\bar{d} + \bar{a}b\bar{c}d + \bar{a}bc\bar{d} + \bar{a}bcd + a\bar{b}\bar{c}\bar{d} + a\bar{b}\bar{c}d + a\bar{b}c\bar{d} + a\bar{b}cd$$

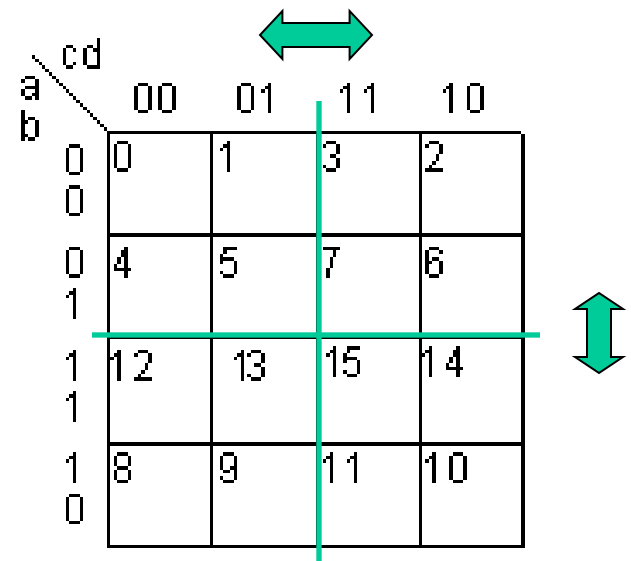
$$f(a,b,c,d) = \prod (9,11,12,14,15)$$

$$f = (\bar{a}+b+c+\bar{d}) \cdot (\bar{a}+b+\bar{c}+\bar{d}) \cdot (\bar{a}+\bar{b}+c+d) \cdot (\bar{a}+\bar{b}+\bar{c}+d) \cdot (\bar{a}+\bar{b}+\bar{c}+\bar{d})$$

4D-Kub $\Rightarrow$ 2D-diagram

Karnaughdiagrammet är sanningstabellen men med en annan ordning. Lagg märke till numreringen!

	abcd
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001
10	1010
11	1011
12	1100
13	1101
14	1110
15	1111



Rutorna är ordnade så att endast en bit ändras mellan två vertikala eller horisontella rutor.

Denna ordning kallas för **Gray-kod**.

Två ”grannar”

$b\bar{c}d$

Rutorna "5" och "13" är "grannar" i Karnaughdiagrammet.

De svarar mot *två* mintermer med *fyra* variabler, och i figuren visas hur de med Booles algebra, kan reduceras till *en* term med *tre* variabler.

	abcd	f
0	0000	1
1	0001	1
2	0010	1
3	0011	1
4	0100	1
5	0101	1 $\bar{a}b\bar{c}d$
6	0110	1
7	0111	1
8	1000	1
9	1001	0
10	1010	1
11	1011	0
12	1100	0
13	1101	1 $ab\bar{c}d$
14	1110	0
15	1111	0

		$\begin{matrix} c=0 \\ d=1 \end{matrix}$			
		$\underbrace{\hspace{1.5cm}}$			
a b	cd	00	01	11	10
	0 0	0 1	1 1	3 1	2 1
b=1 {	0 1	4 1	5 1	7 1	6 1
	1 1	12 0	13 1	15 0	14 0
1 0	1 0	8 1	9 0	11 0	10 1

$$\bar{a}b\bar{c}d + ab\bar{c}d = b\bar{c}d(\bar{a}+a) = b\bar{c}d$$

$\underbrace{\hspace{1.5cm}}_{=1}$

Det de två rutorna har gemensamt är att $b=1$, $c=0$ och $d=1$, och den reducerade termen uttrycker precis detta.

Överallt i Karnaughdiagrammet där man hittar två ettor som är "grannar" (vertikalt eller horisontellt) kan man reducera de min-termerna till *det som är gemensamt* för de två rutorna.

Detta kallas för en **hoptagning**.

Fyra ”grannar”

$$\overline{a}d$$

Rutorna "1" "3" "5" "7" är en grupp av fyra rutor med ettor som ligger som "grannar" till varandra. Även här går de fyra mintermerna att reducera till en term som uttrycker det som är gemensamt för rutorna, nämligen att $a=0$ och $d=1$.

	abcd	f	
0	0000	1	$\overline{a}\overline{b}\overline{c}\overline{d}$
1	0001	1	$\overline{a}\overline{b}\overline{c}d$
2	0010	1	$\overline{a}\overline{b}c\overline{d}$
3	0011	1	$\overline{a}\overline{b}cd$
4	0100	1	$\overline{a}b\overline{c}\overline{d}$
5	0101	1	$\overline{a}b\overline{c}d$
6	0110	1	$\overline{a}bcd$
7	0111	1	$\overline{a}bcd$
8	1000	1	
9	1001	0	
10	1010	1	
11	1011	0	
12	1100	0	
13	1101	1	
14	1110	0	
15	1111	0	

		cd			
		d=1			
a	b	00	01	11	10
0	0	0	1	1	1
	1	4	5	7	6
1	0	12	13	15	14
	1	8	9	11	10

$$\begin{aligned} \overline{a}\overline{b}\overline{c}\overline{d} + \overline{a}\overline{b}\overline{c}d + \overline{a}\overline{b}c\overline{d} + \overline{a}\overline{b}cd &= \\ \overline{a}d(\underbrace{\overline{b}(\overline{c}+c)}_{=1} + \underbrace{b(\overline{c}+c)}_{=1}) &= \overline{a}d \\ \underbrace{\overline{a}d}_{=1} & \end{aligned}$$

Överallt i Karnaughdiagrammet där man hittar sådana grupper av fyra ettor kan man göra sådana förenklingar, *hoptagningar*.

Åtta ”grannar”

$\overline{a}$

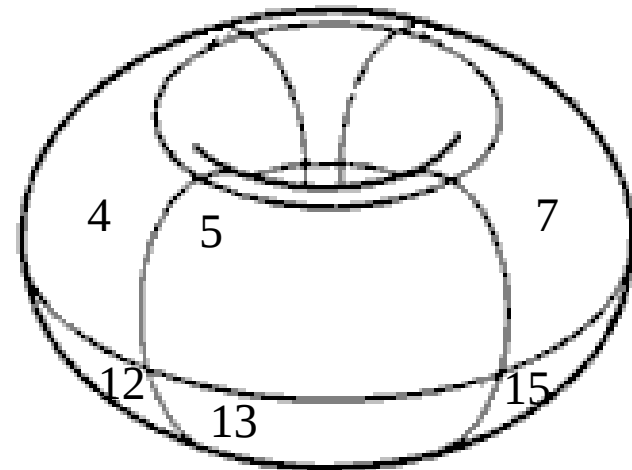
		cd			
		00	01	11	10
a=0	b 0	0 1	1 1	3 1	2 1
	0				
	0				
	1	4 1	5 1	7 1	6 1
	1	12 0	13 1	15 0	14 0
	1				
	0	8 1	9 0	11 0	10 1

Alla grupper av 2, 4, 8, (... 2^N dvs. med jämna 2-potenser) rutor, som innehåller ettor kan reduceras till en term, med "det som är gemensamt", en *hoptagning*.

Karnaugh - toroid

$\overline{b} \overline{d}$

		cd			
		00	01	11	10
a b	0 0	0 1	1 1	3 1	2 1
	0 1	4 1	5 1	7 1	6 1
	1 1	12 0	13 1	15 0	14 0
	1 0	8 1	9 0	11 0	10 1



Egentligen bör man avbilda Karnaughdiagrammet på en toroid (en donut). När man en kant, så börjar diagrammet om från den motsatta sidan! Ruta 0 är således "granne" med ruta 2, men även "granne" med ruta 8 som är granne med ruta 10. De fyra ettorna i hörnen har $b=0$ och $d=0$ gemensamt och kan därför bilda en hoptagning.

Bästa hoptagningar?

Man söker efter så stora hoptagningar som möjligt. I exemplet finns det en hoptagning med åtta ettor (rutorna 0,1,3,2,4,5,7,6). Hörnen (0,2,8,10) är en hoptagning av fyra ettor.

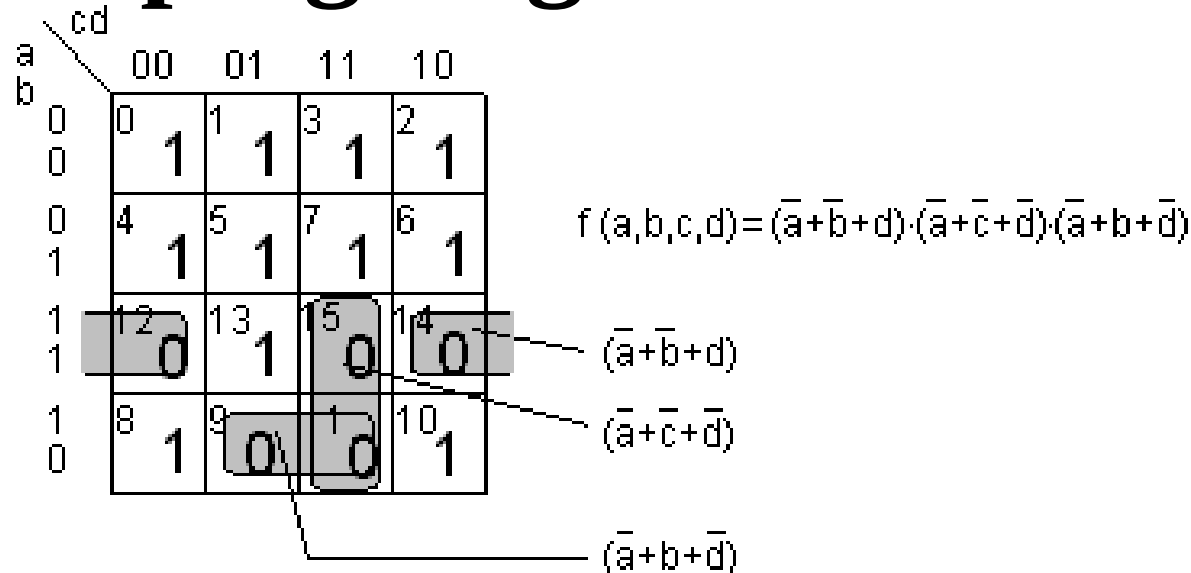
		cd			
		00	01	11	10
a b	0 0	0	1	3	2
	0 1	4	5	7	6
	1 1	12	13	15	14
	1 0	8	9	11	10

$$f(a,b,c,d) = \bar{a} + \bar{b}\bar{d} + b\bar{c}d$$

Två av rutorna (0,10) har redan tagits med i den första hoptagningen, men inget hindrar att en ruta blir medtagen flera gånger. Alla ettor måste med i funktionen, antingen i en hoptagning, eller som en minterm. Ettan i ruta 13 kan bilda en hoptagning med ettan i ruta 5, någon större hoptagning finns tyvärr inte för denna etta.

$$f(a,b,c,d) = \bar{a} + \bar{b}\bar{d} + b\bar{c}d$$

Hoptagningar av 0:or



Karnaughdiagrammet är också användbart för hoptagning av 0:or. Hoptagningarna kan omfatta samma antal rutor som i fallet med hoptagning av 1:or. I detta exempel kan 0:orna tas ihop i par med sina "grannar". Maxtermerna förenklas till *det som är gemensamt* för rutorna.

$$f(a,b,c,d) = (\bar{a} + \bar{b} + d)(\bar{a} + \bar{c} + \bar{d})(\bar{a} + b + \bar{d})$$

Andra variabelantal

	c	b	a
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0
7	1	1	1

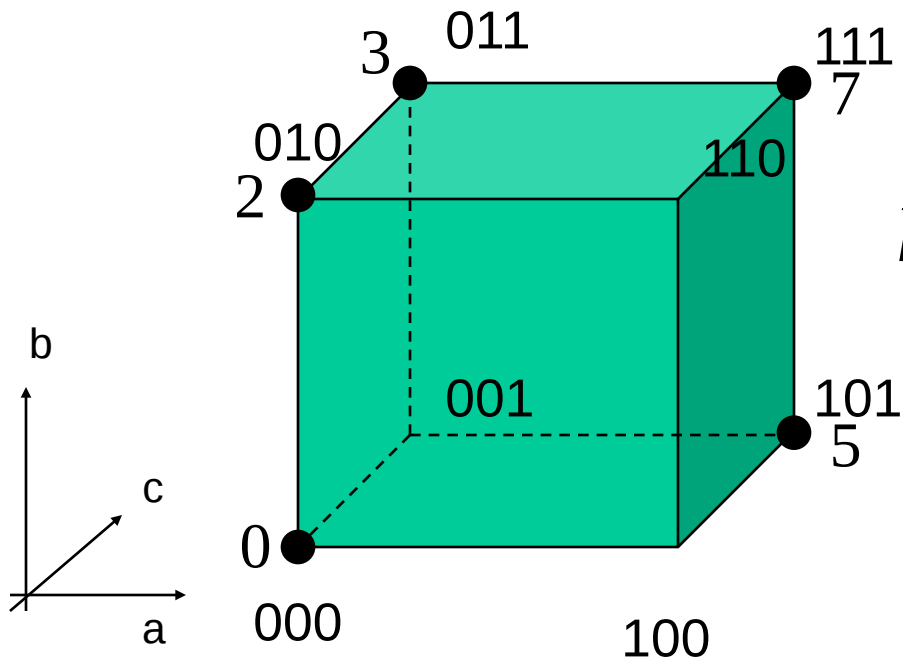
		ba			
		00	01	11	10
c	0	0	1	3	2
	1	4	5	7	6

	b	a
0	0	0
1	0	1
2	1	0
3	1	1

		a	
		0	1
b	0	0	1
	1	2	3

Karnaughdiagram med tre och två variabler är också användbara.

Minimeringsexempel

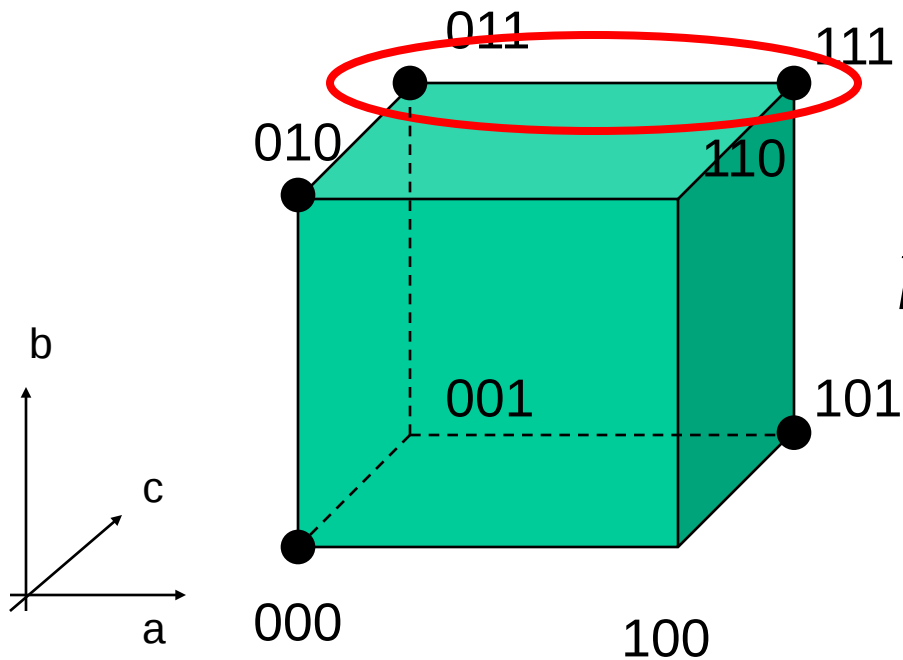


$$f(a, b, c) = \sum m(0, 2, 3, 5, 7)$$

		bc			
		00	01	11	10
a	0	⁰ 1	1	³ 1	² 1
	1	⁴	⁵ 1	⁷ 1	⁶

Implikanter

Ringa in min-termer
som ligger bredvid
varandra



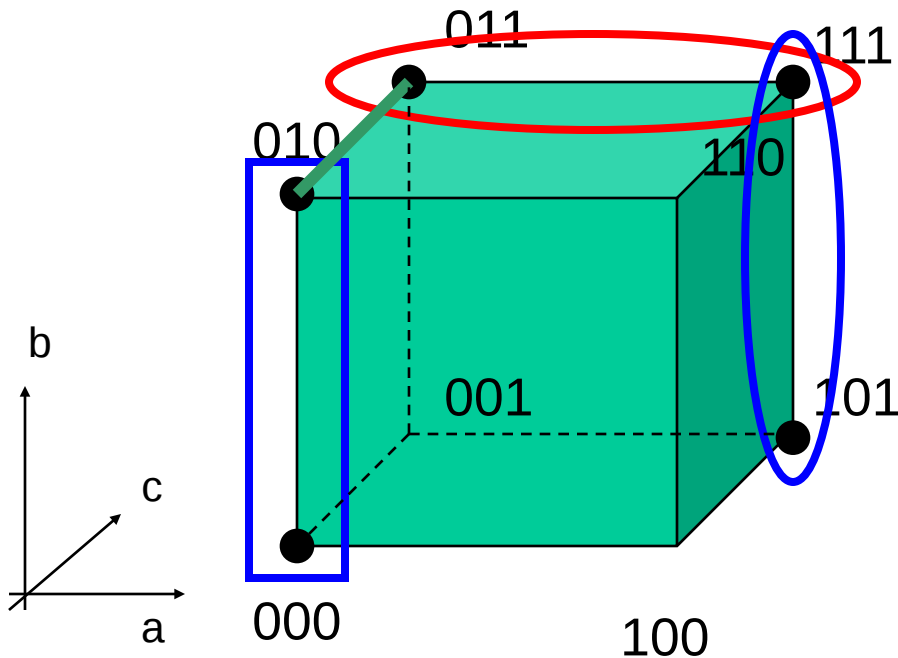
$$f(a, b, c) = \sum m(0, 2, 3, 5, 7)$$

a \ bc	bc			
	00	01	11	10
0	1		1	1
1		1	1	

Lite implikant-terminologi

- **Implikant** - en inringning av min-termer
- **Prim-implikant** - en inringning av min-termer som inte kan göras större.
- **Essentiell** prim-implikant - en maximal inringning av min-termer som måste vara med för att funktionen skall täckas.
- **Redundant** prim-implikant – en maximal inringning av min-termer som inte nödvändigtvis måste vara med för att funktionen skall täckas.

Implikanter



$$f = \bar{a}\bar{c} + \textcircled{bc} + ac$$

$$f = \bar{a}\bar{c} + \textcircled{\bar{a}b} + ac$$

Redundanta implikanter -
bägge är inte nödvändiga
(en måste vara med) för att
täcka funktionen.

Karnaugh map for the function f(a,b,c). The rows are labeled 'a' (0, 1) and the columns are labeled 'bc' (00, 01, 11, 10). The map shows 1s at positions (0,00), (0,11), (0,10), (1,01), and (1,11). Prime implicants are circled: a blue rectangle for a=0, a green oval for bc=11, a blue oval for a=1 and bc=01, and a red oval for bc=11 and a=1. Red and green arrows point from the text above to the red and green ovals respectively.

		bc	00	01	11	10
a	0		1		1	1
1				1	1	

$$f(a,b,c) = \sum m(0,2,3,5,7)$$

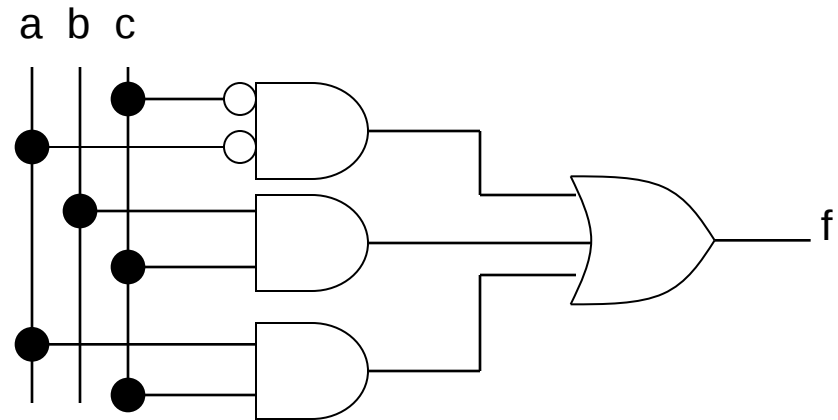
Två-nivå minimering

Minimal Summa-Produkt Implementation

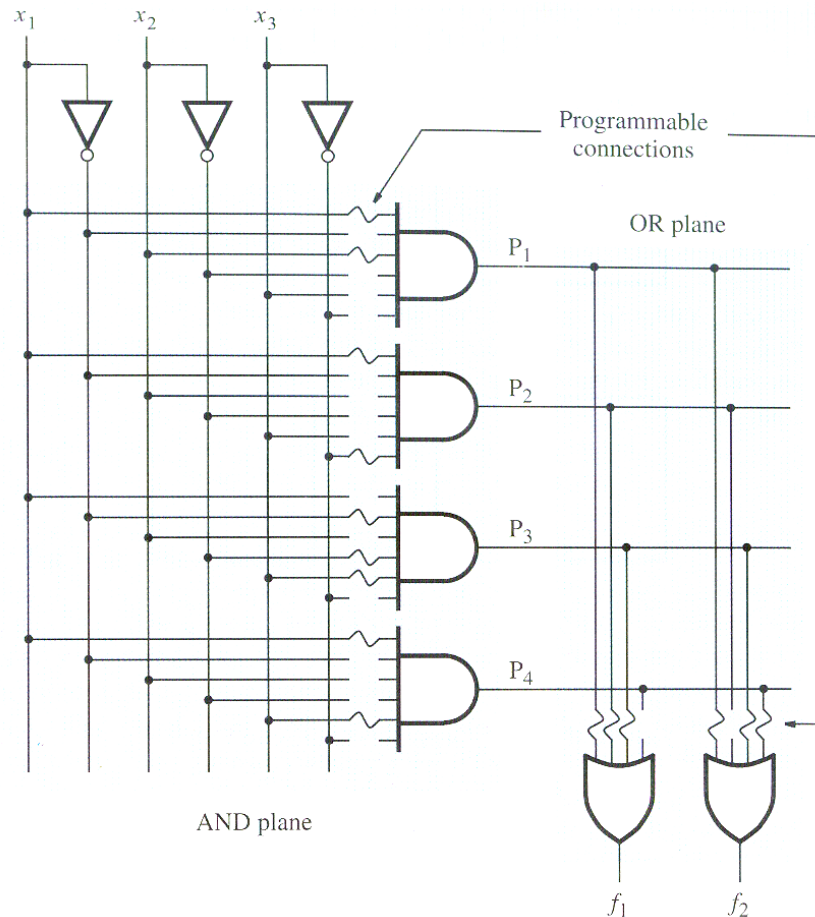
$$f(a,b,c) = \sum m(0,2,3,5,7)$$

		bc			
		00	01	11	10
a	0	1		1	1
	1		1	1	

$$f = \overline{a}\overline{c} + bc + ac$$

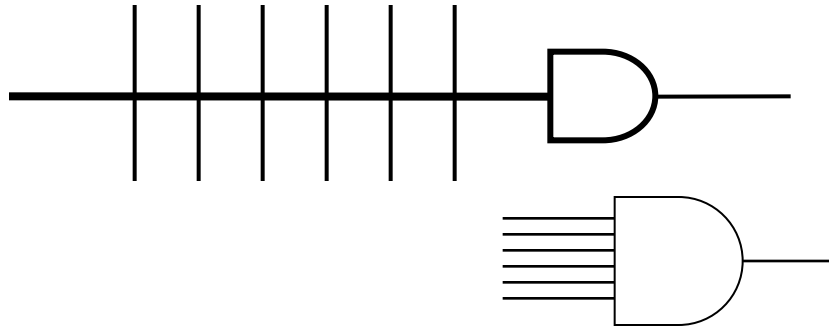


Programmable Logic Array (PLA)

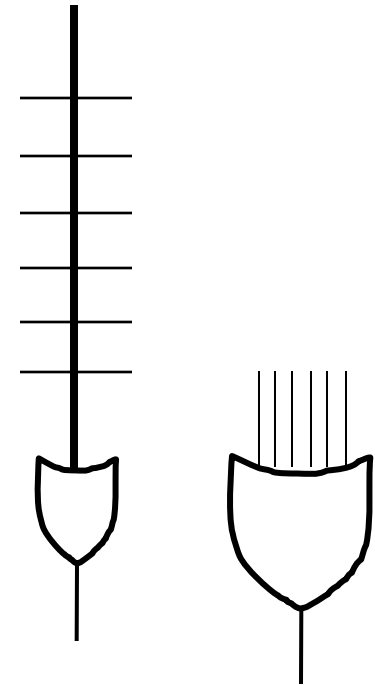


Programerbar AND
och OR – matris.
Programmeringen
består av att man
”bränner av”
anslutningar man inte
vill ha kvar.
(nu föråldrad teknik)

Programmable Logic Array (PLA)



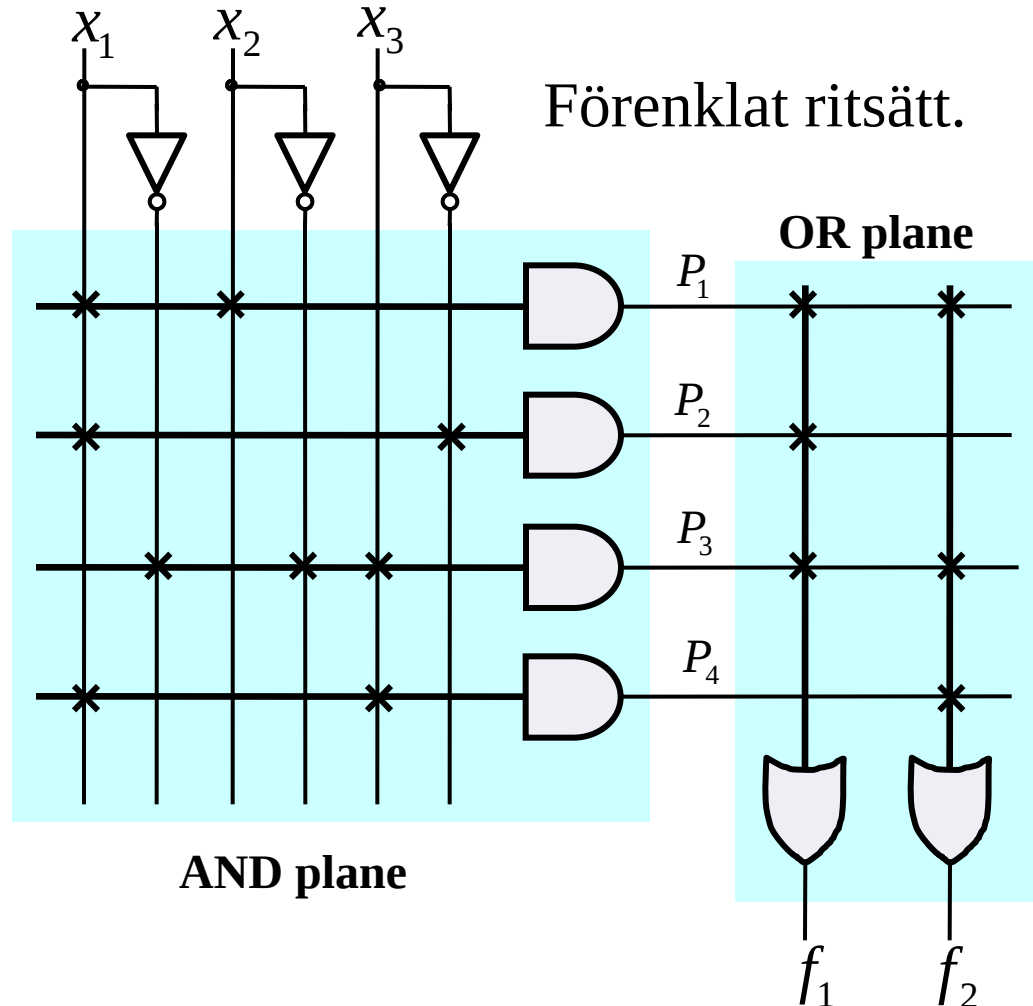
Grind-matriserna har så många ingångar att man brukar rita grindarna med ett ”förenklat ritsätt”



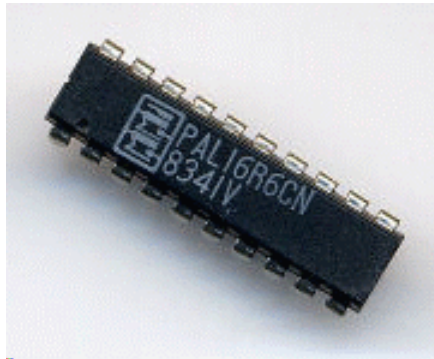
Programmable Logic Array (PLA)

PLA. Både **AND-** och **OR-** matriserna är programmerbara.

(en kostsam flexibilitet)

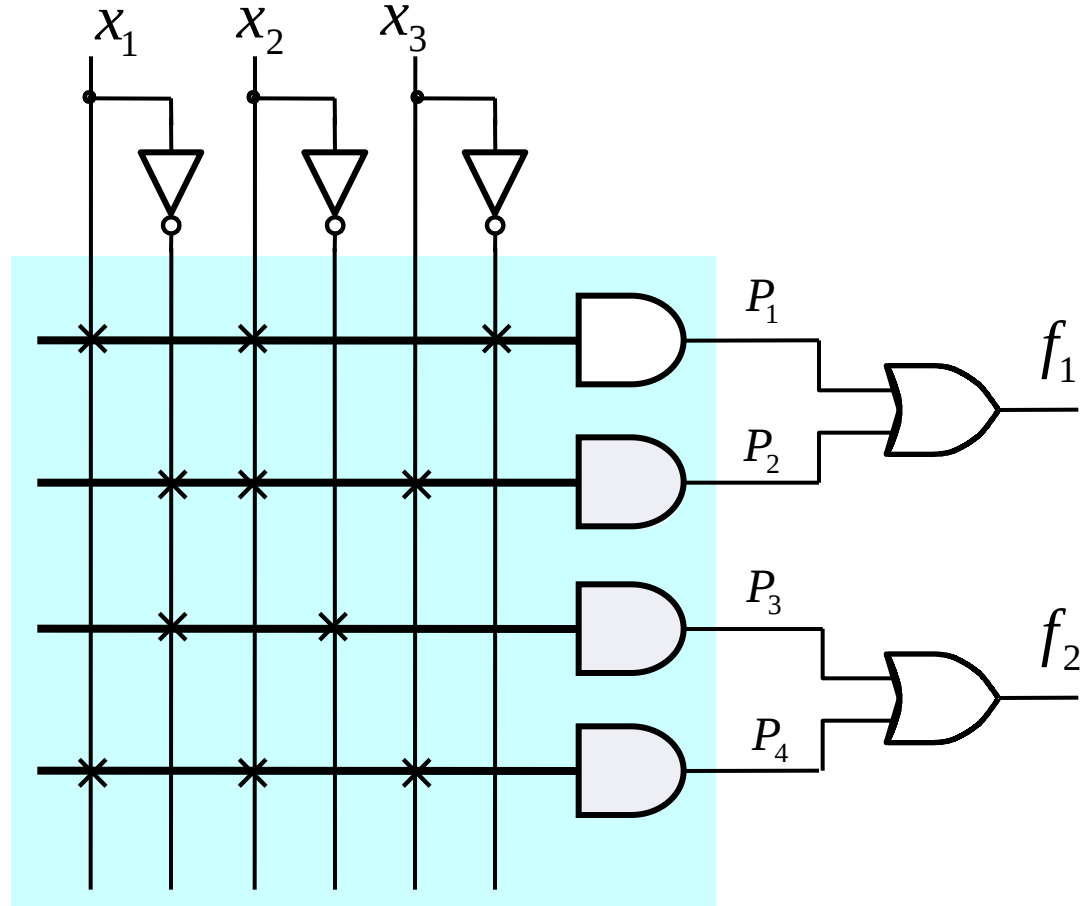


Programmable Array Logic (PAL)

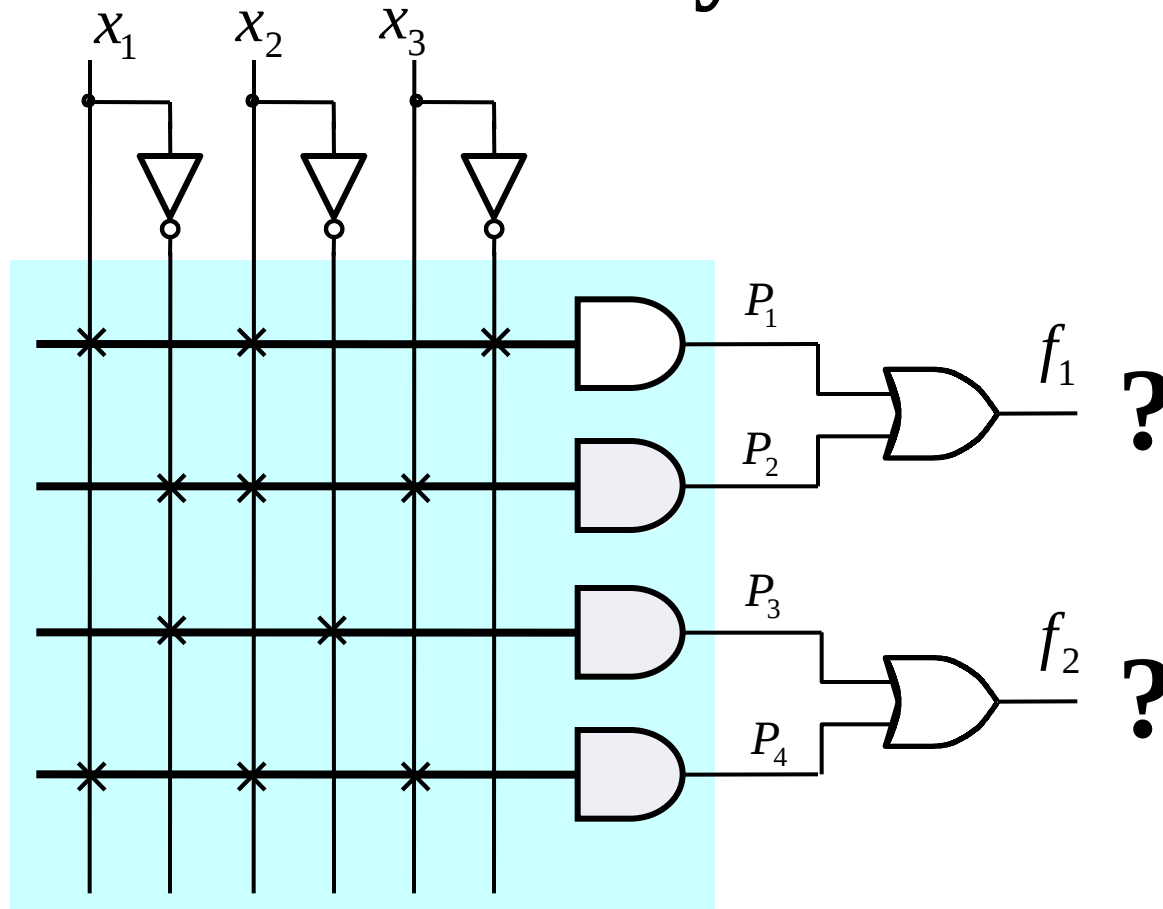


PAL. Bara **AND**-matrisen är programmerbar.

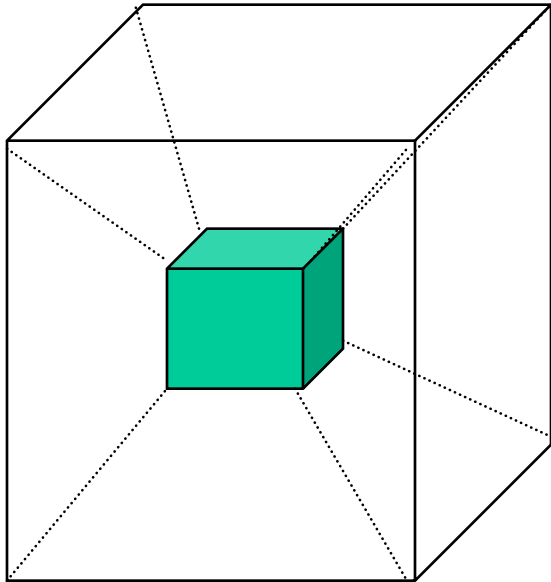
(en ekonomisk kompromisslösning)



PAL, vilka funktioner döljer sig bakom kryssen?



Sub-kub vid fyra variabler

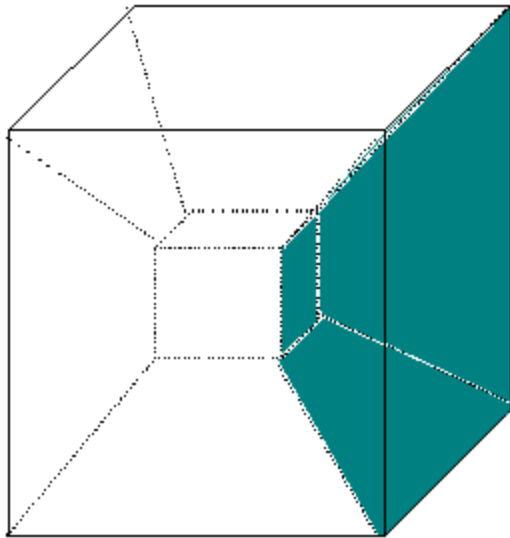


x_1x_0		00	01	11	10
x_3x_2	00				
	01				
	11	1	1	1	1
	10	1	1	1	1

Vi ringar alltid in en hel sub-kub (så stor som möjligt)!!!

$$f = x_3$$

Sub-kub vid fyra variabler



x_1x_0		00	01	11	10
x_3x_2	00		1	1	
	01		1	1	
	11		1	1	
	10		1	1	

Vi ringar alltid in en hel sub-kub (så stor som möjligt)!!!

$$f = x_0$$

EXOR kan vara till hjälp

Om två fyra-inringningar *inte* kan bilda en åtta-inringning kan kanske XOR/XNOR-funktionen vara till hjälp.

x_1x_0		00	01	11	10
x_3x_2	00	1			1
	01		1	1	
	11		1	1	
	10	1			1

Detta under förutsättningen att det finns en särskilt effektiv implementering av EXOR-funktionen.

$$f = \overline{x_2} \overline{x_0} + x_2 x_0 = \overline{x_2 \oplus x_0}$$

4D Minterm ordering ...

$$f(x_3, x_2, x_1, x_0) = \sum m(0, 3, 7, 14)$$

Diagram illustrating the 4D minterm ordering for the function $f(x_3, x_2, x_1, x_0)$. The variables are ordered by significance: x_3 is the MSB (Most Significant Bit) and x_0 is the LSB (Least Significant Bit).

The minterms are arranged in a 4x4 grid, where the rows represent the combinations of x_3x_2 and the columns represent the combinations of x_1x_0 .

	x_1x_0			
x_3x_2	00	01	11	10
00	0	1	3	2
01	4	5	7	6
11	12	13	15	14
10	8	9	11	10

5D fem variabler

x_4

$x_4 = 0$

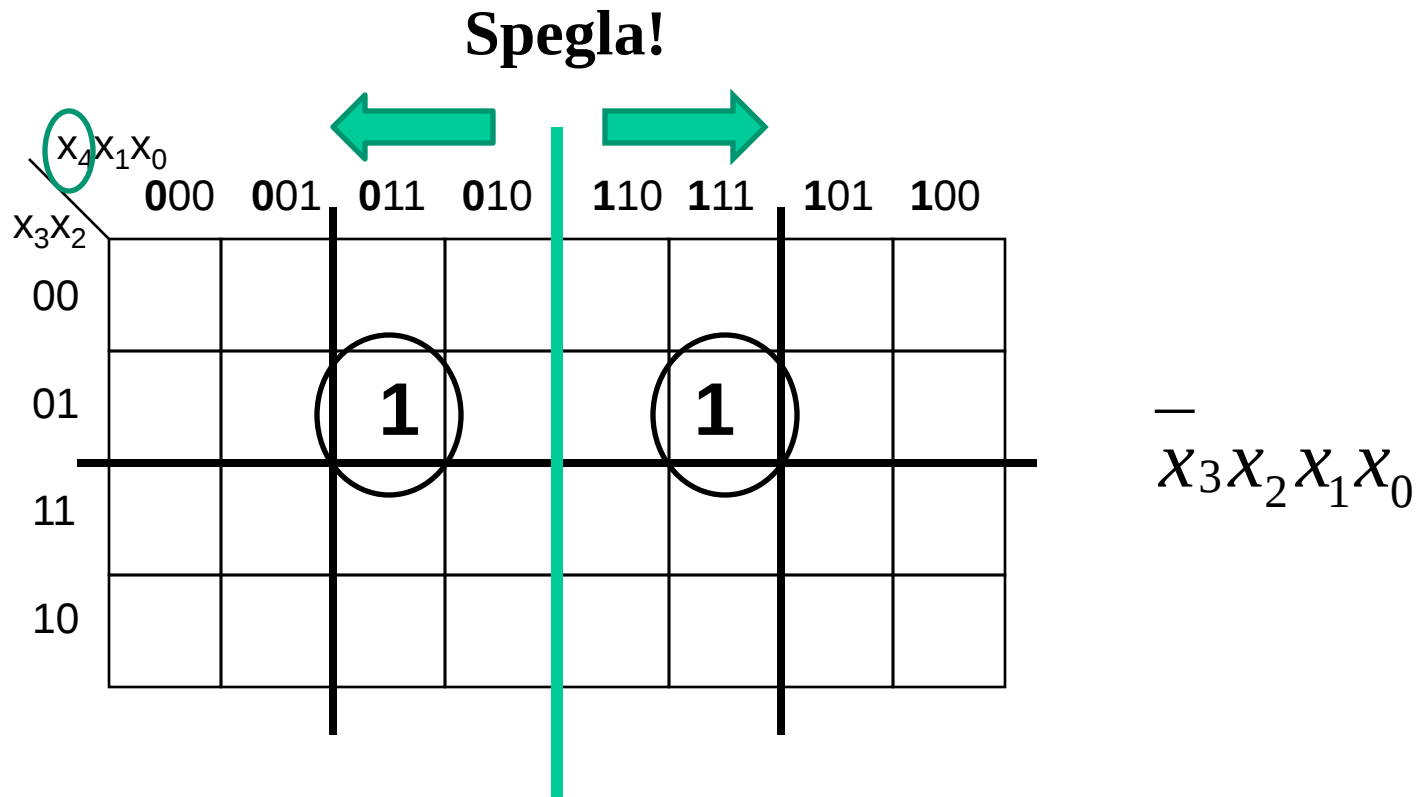
x_1x_0		00	01	11	10
x_3x_2	00				
	01			1	
	11				
	10				

$x_4 = 1$

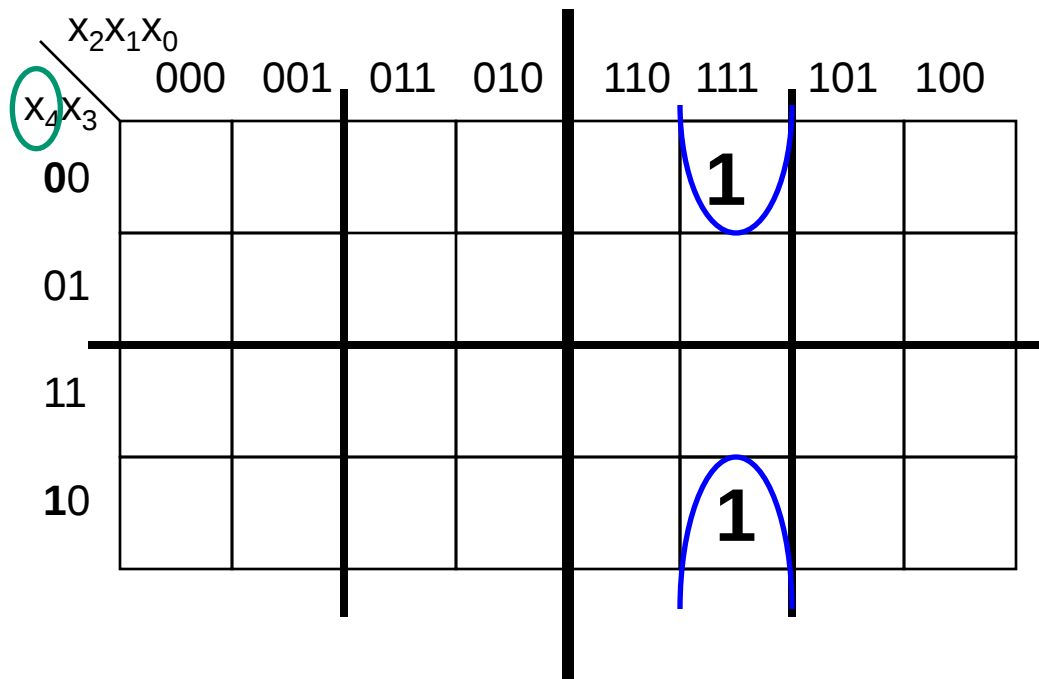
x_1x_0		00	01	11	10
x_3x_2	00				
	01			1	
	11				
	10				

Samma i båda diagrammen, oberoende av x_4 . $\overline{x_3} x_2 x_1 x_0$

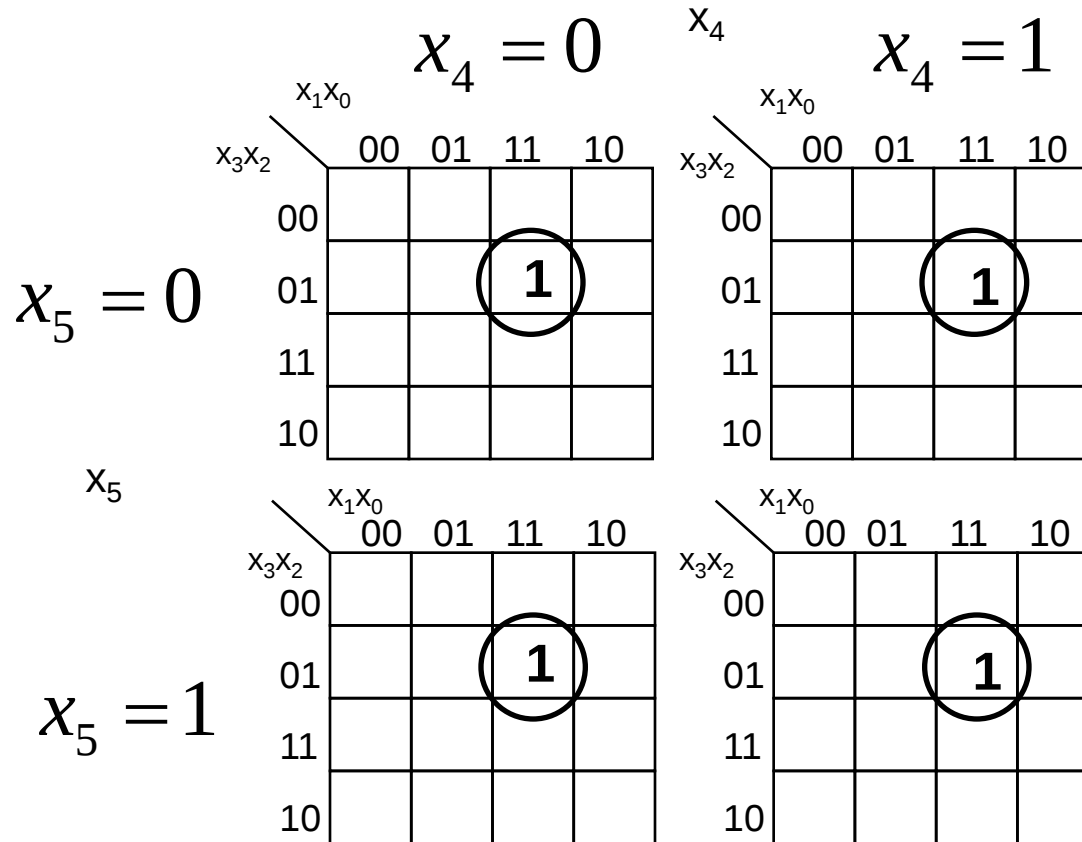
Spegling med 5 variabler



och med en annan ordning ...



Karnaugh-diagram med 6 variabler

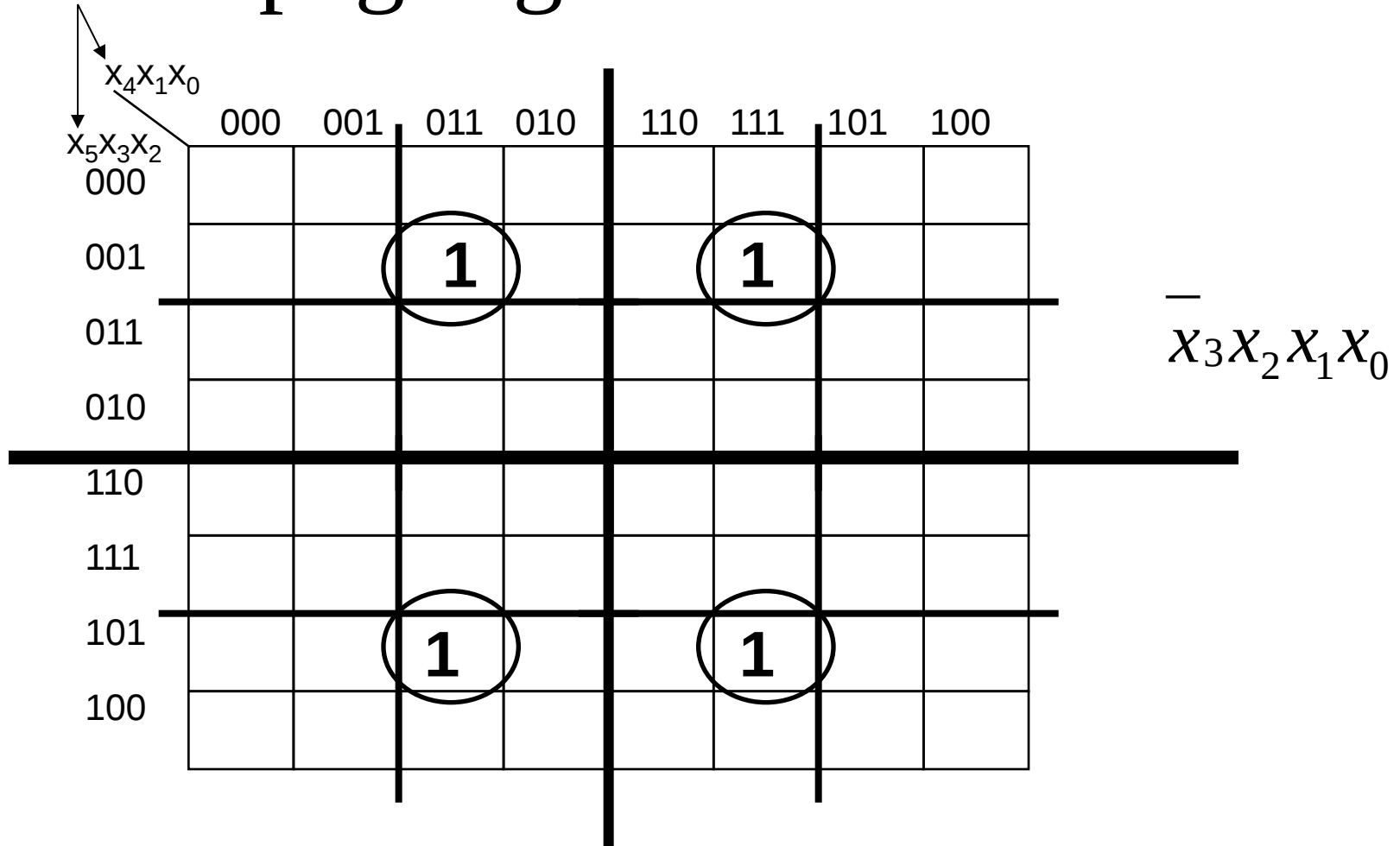


$$\overline{x_3x_2x_1x_0}$$

Oberoende
av x_5 och x_4 .

Spegling med 6 variabler

OBS!



och med en annan ordning ...

	$x_2x_1x_0$							
	000	001	011	010	110	111	101	100
$x_5x_4x_3$ 000						1		
001								
011								
010						1		
110						1		
111								
101								
100						1		

$x_3x_2x_1x_0$

Hoptagningar med 0:or

x_1x_0	00	01	11	10
x_3x_2				
00	1	1	1	1
01	1	0	1	1
11	1	1	1	1
10	1	1	1	1

0:an som minterm – helt fel!

$$\overline{f} = \overline{x_3} \overline{x_2} \overline{x_1} \overline{x_0}$$

invertera, så blir det rätt!

$$f = \overline{\overline{f}} = \overline{\overline{x_3} \overline{x_2} \overline{x_1} \overline{x_0}} =$$

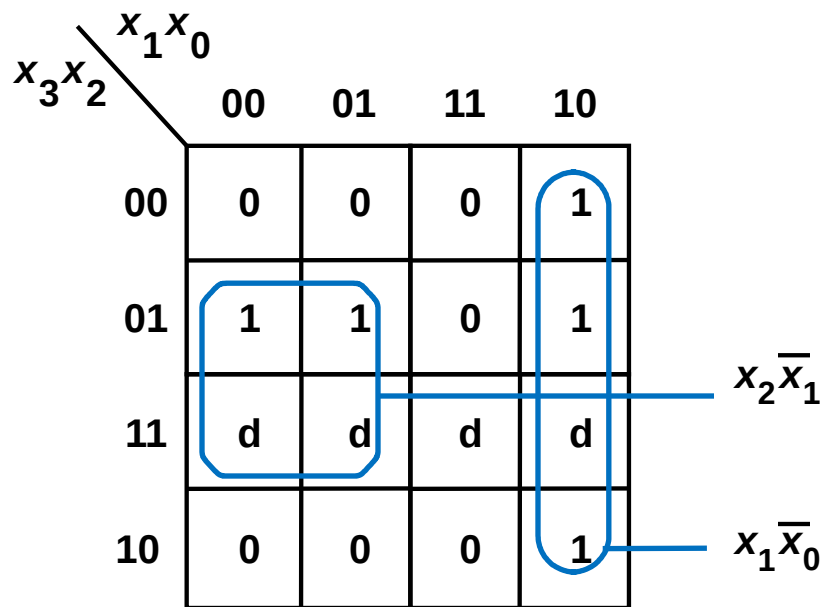
$$= \{dM\} = (x_3 + \overline{x_2} + x_1 + \overline{x_0})$$

Ringa in nollorna om dom är färre än ettorna!!!

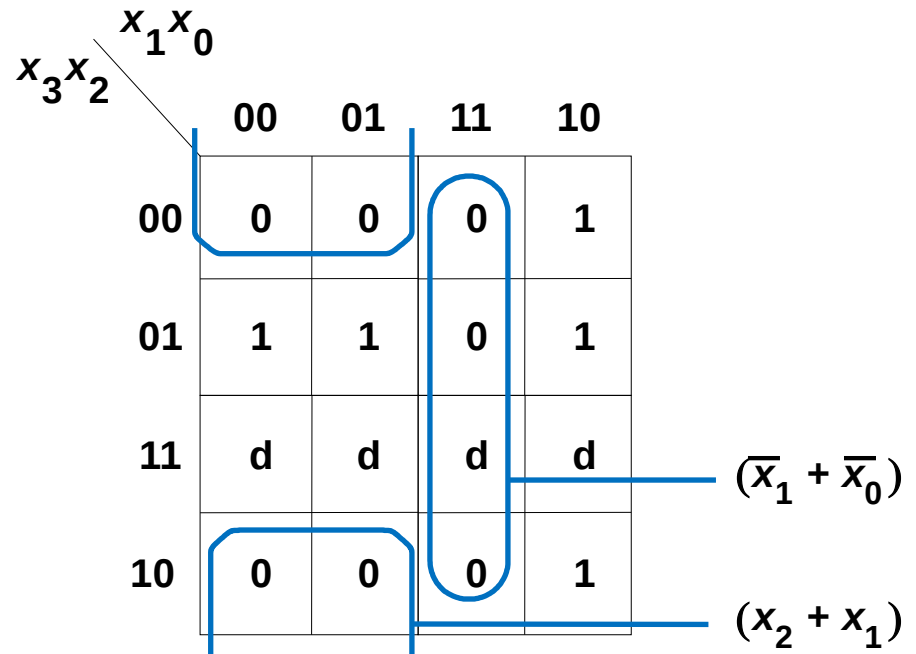
Don't care

- Ofta kan man förenkla specifikationen för den logiska funktionen eftersom man vet att vissa kombinationer kan aldrig förekomma
- För dessa kombinationer använder vi värdet "don't care"
- Det finns olika symboler för "don't care" i bruk
– 'd', 'D', '-', 'Φ', 'x'

Ofullständig funktionsspecifikation



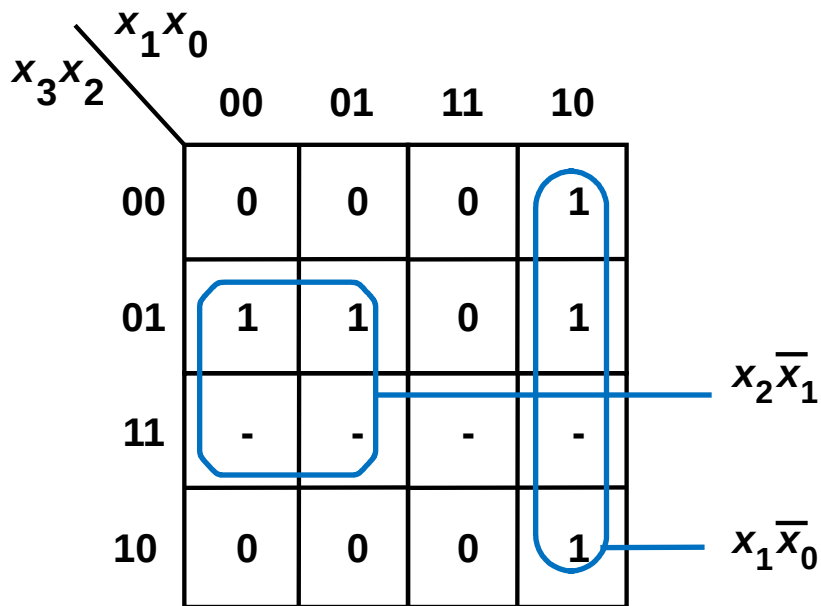
(a) SOP implementation



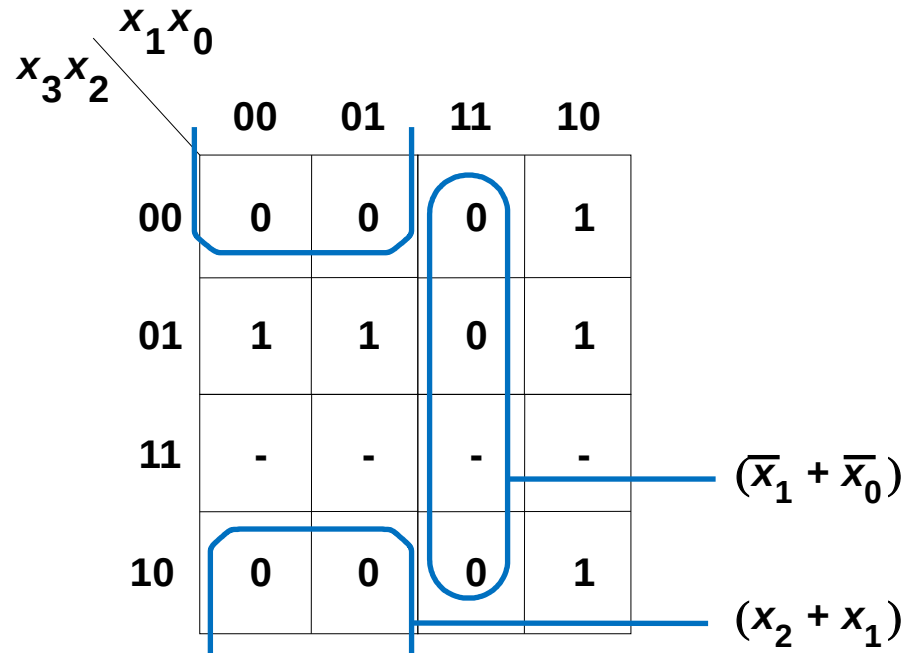
(b) POS implementation

Två implementeringar av funktionen
 $f(x_3, \dots, x_0) = \sum m(2, 4, 5, 6, 10) + D(12, 13, 14, 15).$

Annan notation (-) ...



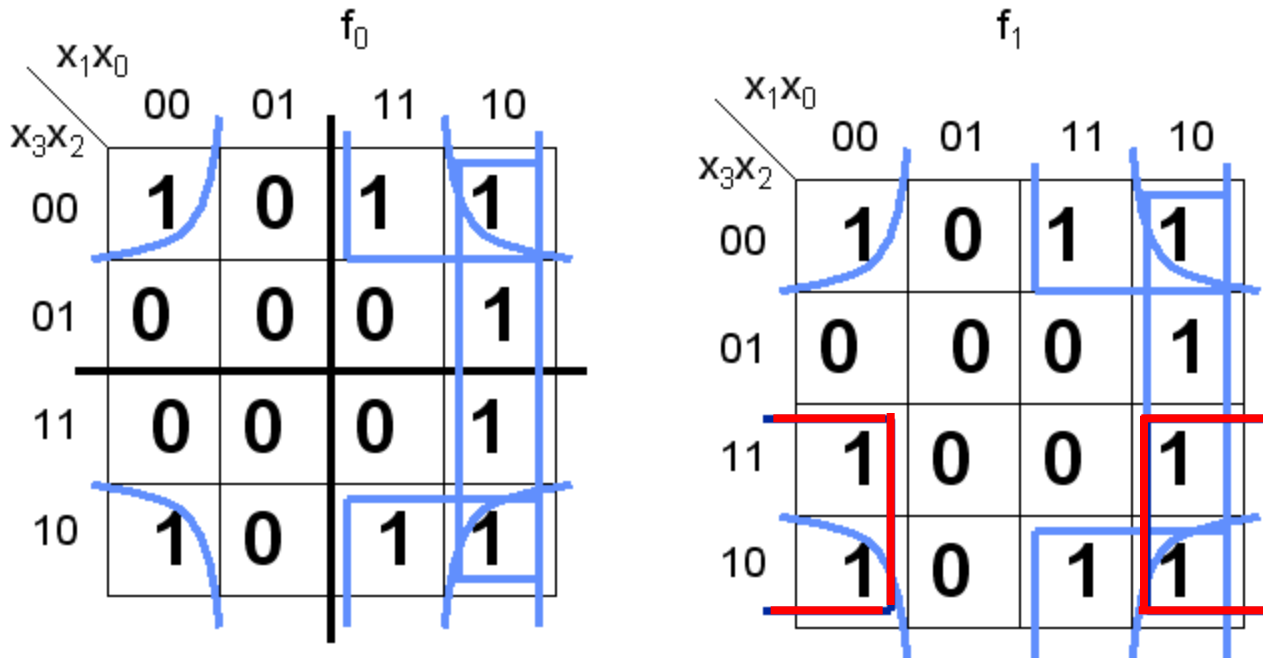
(a) SOP implementation



(b) POS implementation

Två implementeringar av funktionen
 $f(x_3, \dots, x_0) = \sum m(2, 4, 5, 6, 10) + D(12, 13, 14, 15).$

Funktioner med flera utgångar



$$f_1 = f_0 + \boxed{x_3 \bar{x}_0}$$

Olika utgångar kan dela prim-implikanter!!!

Fler-nivå minimering

Behöver man fler nivåer än **två**?

Man kan ju realisera alla kombinatoriska kretsar med **två** nivåer (**AND-OR, OR-AND**)

- Antagandet är då att alla ingångar finns också i inverterade form (som i **PAL, PLA**)

Varför fler-nivå logik?

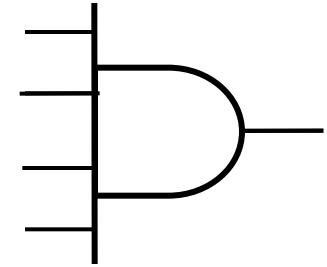
- Antalet ingångar i en krets kan vara begränsad
- Hög fan-in leder till långa fördröjningar
- Det kan vara mer kostnadseffektivt att använda en implementering med fler nivåer

Två strategier för fler-nivå logik

1 Faktorisering

2 Funktionell dekomposition

Faktorisering



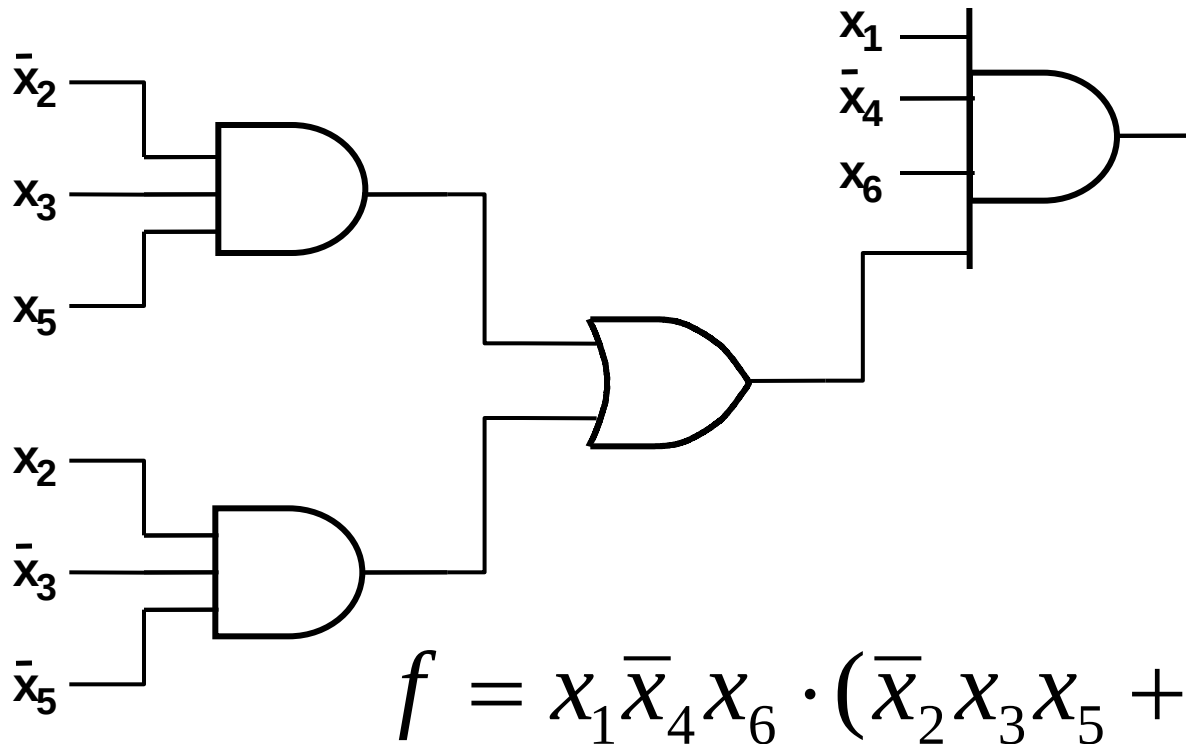
$$f = x_1 \bar{x}_2 x_3 \bar{x}_4 x_5 x_6 + x_1 x_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 \bar{x}_5 x_6$$

Vi har bara AND med som *mest* 4 ingångar?

Bryt ut $x_1 \bar{x}_4 x_6$

$$f = x_1 \bar{x}_4 x_6 \cdot (\bar{x}_2 x_3 x_5 + x_2 \bar{x}_3 \bar{x}_5)$$

Faktorisering



Funktionell dekomposition

- Man kan ofta reducerar komplexiteten av en logisk funktion genom att återanvända funktioner flera gånger
- För implementeringen betyder det att man återanvänder en "krets" vid flera ställen i sin konstruktion

Funktionell dekomposition

$$f = \bar{x}_1 x_2 x_3 + x_1 \bar{x}_2 x_3 + x_1 x_2 x_4 + \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_4$$

Funktioner kan ses som sammansatta av underfunktioner.

Funktionell dekomposition

Bryt ut x_3 respektive x_4

$$\begin{aligned} f &= \bar{x}_1 x_2 x_3 + x_1 \bar{x}_2 x_3 + x_1 x_2 x_4 + \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_4 \\ &= \underbrace{(\bar{x}_1 x_2 + x_1 \bar{x}_2)}_{\text{XOR} = g} x_3 + \underbrace{(x_1 x_2 + \bar{x}_1 \bar{x}_2)}_{\text{XNOR} = \bar{g}} x_4 \end{aligned}$$

$$f = g x_3 + \bar{g} x_4$$

Hade Du kommit på det? ...

(XOR och XNOR)

$$XOR = \overline{XNOR}$$

		XOR	
		x_2 0	1
x_1	0	0	1
	1	1	0

$\overline{x_1}x_2 + x_1\overline{x_2}$

		XNOR	
		x_2 0	1
x_1	0	1	0
	1	0	1

$\overline{x_1}\overline{x_2} + x_1x_2$

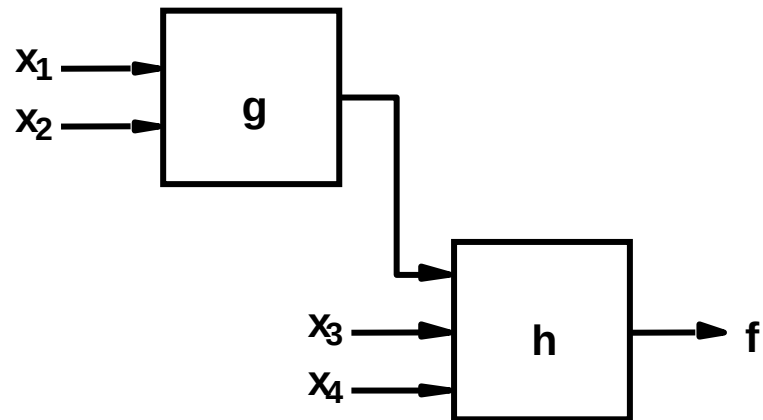
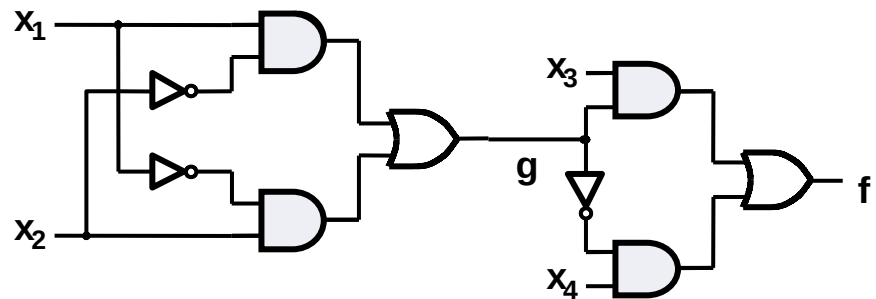
Med en effektiv implementering av XOR-grindar (få transistorer) så kan man se lösningar i Karnaughdiagrammet även när det *inte* går att göra några hoptagningar!

Funktionell dekomposition

Implementeringen

$$g = \bar{x}_1 x_2 + x_1 \bar{x}_2$$

$$f = g x_3 + \bar{g} x_4$$



Algoritmer för minimering

- Karnaugh-minimering ger en bra inblick hur man kan minimera logiska funktioner
- Men för att minimera komplexa funktioner med hjälp av datorstöd finns det bättre algoritmer
- Kapitel 4.9 och 4.10 i Brown/Vranesic ger en introduktion i minimeringsalgoritmer (för den intresserade studenten)

Sammanfattning

- Karnaugh-diagrammet är ett bra verktyg för att minimera logiska funktioner med få variabler
- Det finns algoritmer för både två-nivå och flernivås-minimering