

# Algoritmer og Datastrukturer 1

Gerth Stølting Brodal



**Kursusbeskrivelsen...**

# Kursusbeskrivelsen:

## Algoritmer og datastrukturer 1

### Formål

Deltagerne vil efter kurset have indsigt i **algoritmer** som model for **sekventielle beregningsprocesser** og som basis for formelle **korrekthedsbeviser** og analyse af **ressourceforbrug** ved beregningerne, samt detaljeret kendskab til adskillige konkrete implementationer af fundamentale datastrukturer.

### Indhold

*Datastrukturer*: Lister, træer, hashtabeller; *Dataabstraktioner*: Stakke, køer, prioritetskøer, ordbøger, mængder; *Algoritmer*: Søgning, sortering, selektion, fletning; *Analyse og syntese*: Worst-case, amortiseret og forventet udførelsestid, udsagn, invarianter, gyldighed, terminering og korrekthed.

### Læringsmål

Deltagerne skal ved afslutningen af kurset kunne:

- **formulere** og **udføre** algoritmer og datastrukturer i pseudo code.
- **analysere** og **sammenligne** tid og pladsforbruget af algoritmer.
- **identificere** gyldige invarianter for en algoritme.
- **bevise** korrektheden af simple programmer og transitionssystemer.

# Kursusbeskrivelsen:

## Algoritmer og datastrukturer 1

### Forudsætningskrav

dIntProg

### Undervisningsformer

Forelæsninger: 4 timer/uge

### Obligatorisk program

6 opgaver

### Evaluering

Forelæsningerne gennemgår stoffet fra bogen *Algoritmer og datastrukturer* (2. udgave) og arbejder man med stoffet.

ny (2015)

### Sprog

Dansk

### Eksamensterminer

Eksamen: 3. kvarter

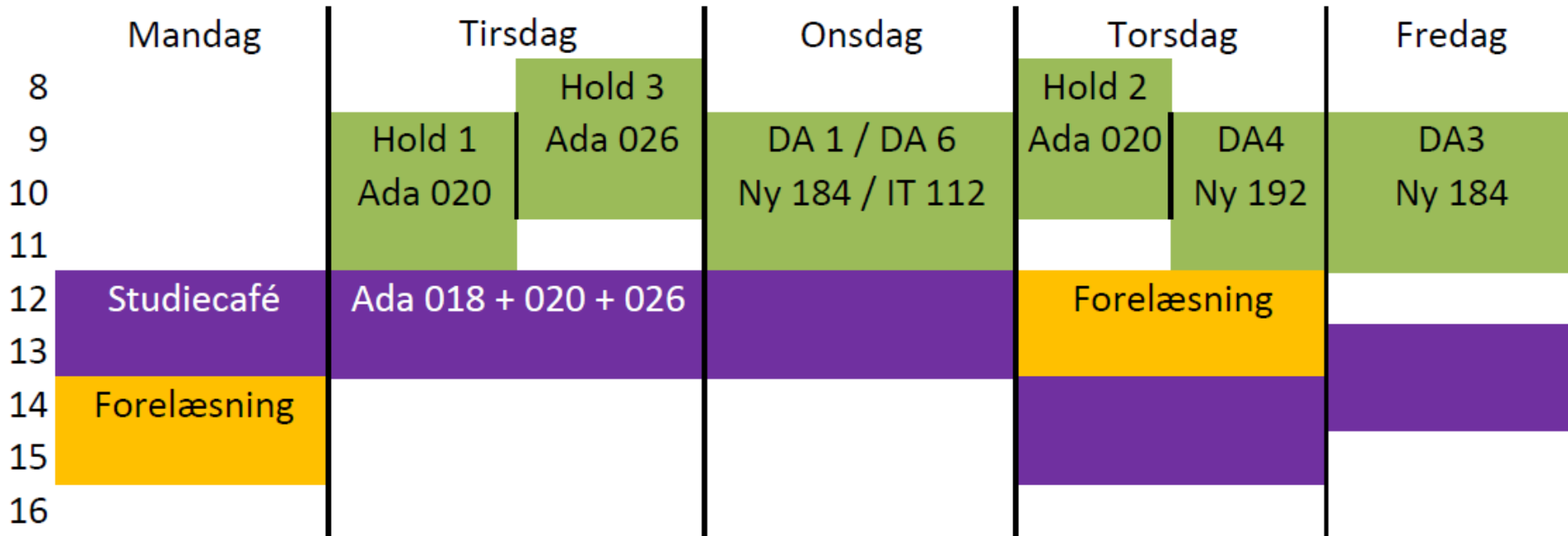
Reeksamen: juni

Vi kan antage at I ved hvordan man programmerer detaljerne – så dem springer vi over

Stilles 6 opgaver – alle skal være kendt for at kunne gå til opgaverne. Opgaverne afleveres i grupper på 1-3 personer.

Eksamen består af ca. 25 korte spørgsmål – se eksempler på kursushjemmesiden

# Skema



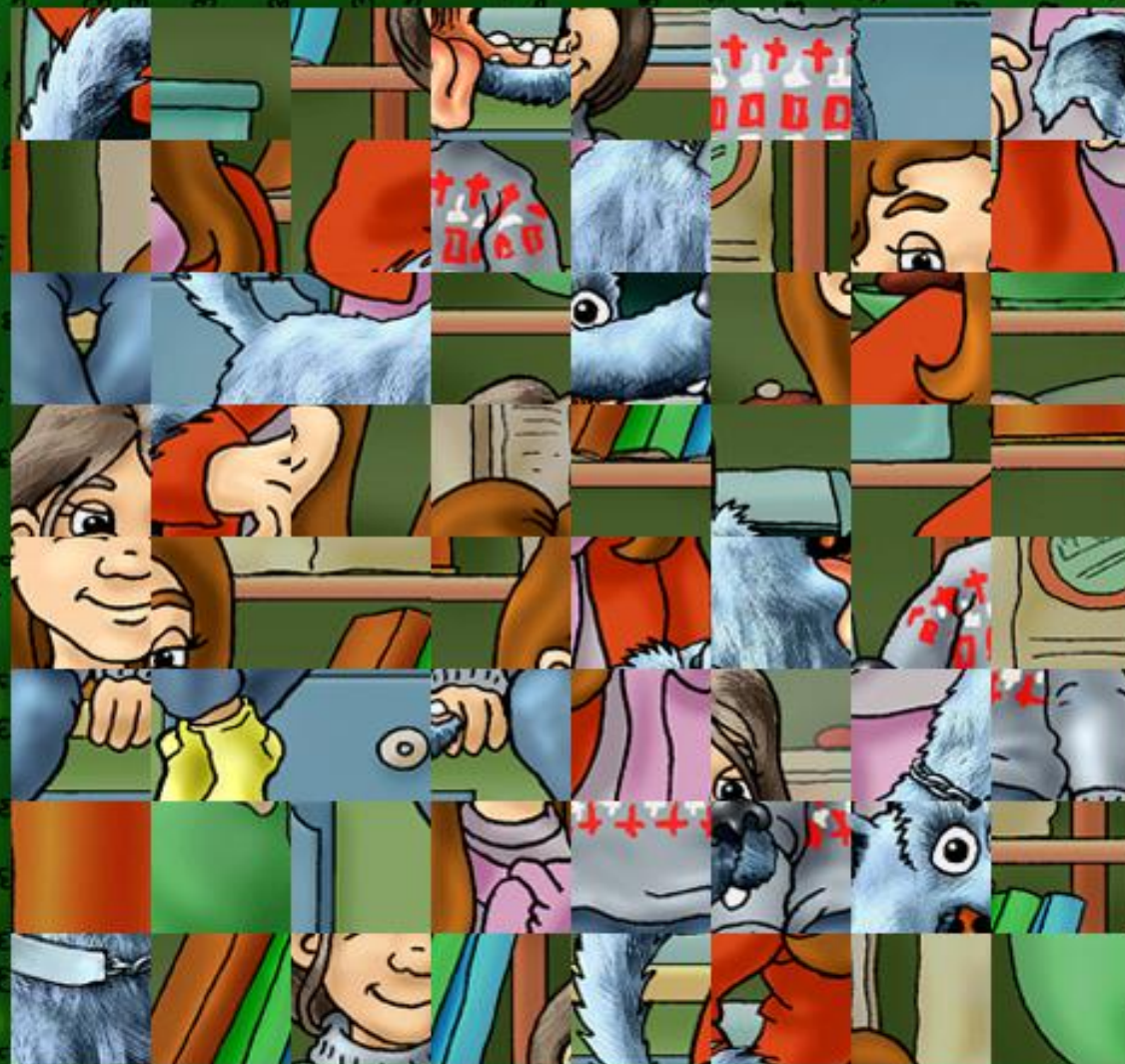
**Spørgsmål ?**





TV2

500







- › Forside
- › Om Valhal
- › Konkurrencer
- › Spil & Hiscore
- › Downloads
- › På mobilen
- › TV-Guide

## Hiscore er du på?

Valhal spillene findes på den cd-rom, som følger med lågekalenderen. Find din egen score herunder. Husk at vælge et specielt spille-navn, så du kan kende dig blandt alle de andre. Hi-scores bliver genstartet hver dag! Kan du blive nr. 1 på et de 24 spil?

*Klik på spilnavnet for at se alle scores!*

**Se også**

- › Hotline
- › Thors Torden Race
- › Anders And Hiscore

Johnny Deluxe

**LUXUS**

NYT ALBUM  
UDE NU

INKL.  
DET DU GØR &  
DRENGE SOM MIG

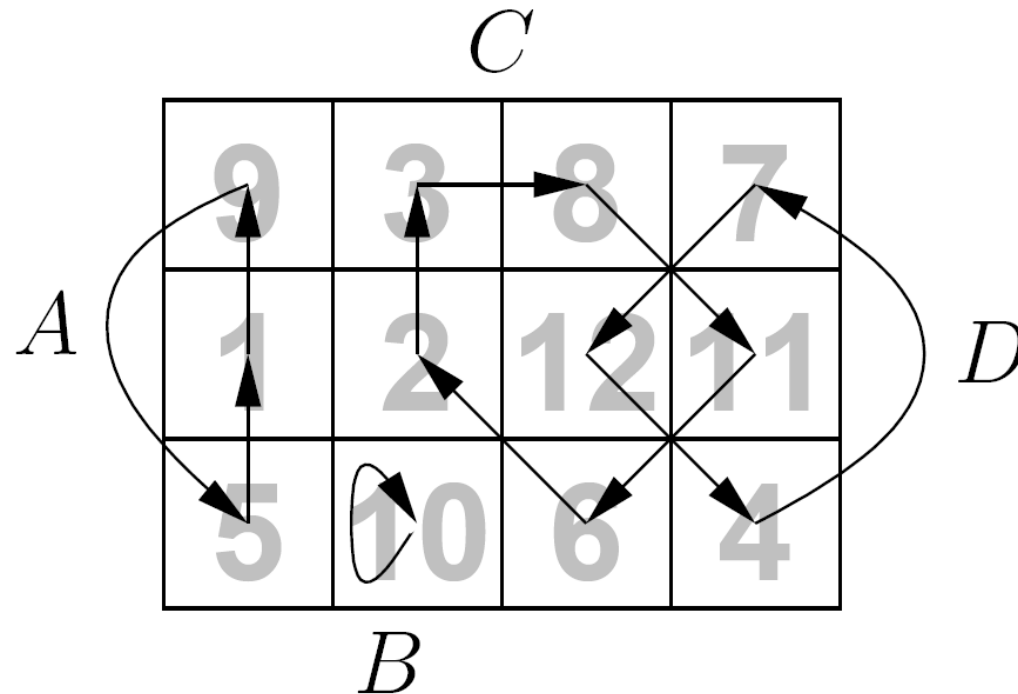
1. Pebernødder til Snifer			2. Lokes høj		
1	499	andreas	1	450	Anne.K.Nie
2	470	Mads12345	2	449	Kimingen88
3	246	Ikke oplyst	3	448	morten.fly
4	63	DANIEL	4	448	MiaMaria
5	53	mathiastp	5	448	RONNIE

# ”Lokes Høj”

- 64 brikker
- Hiscore 450
- Antal ombytninger  $500 - 450 = 50$

**Hvordan opnår man et lavt antal ombytninger  
– held eller dygtighed ?**

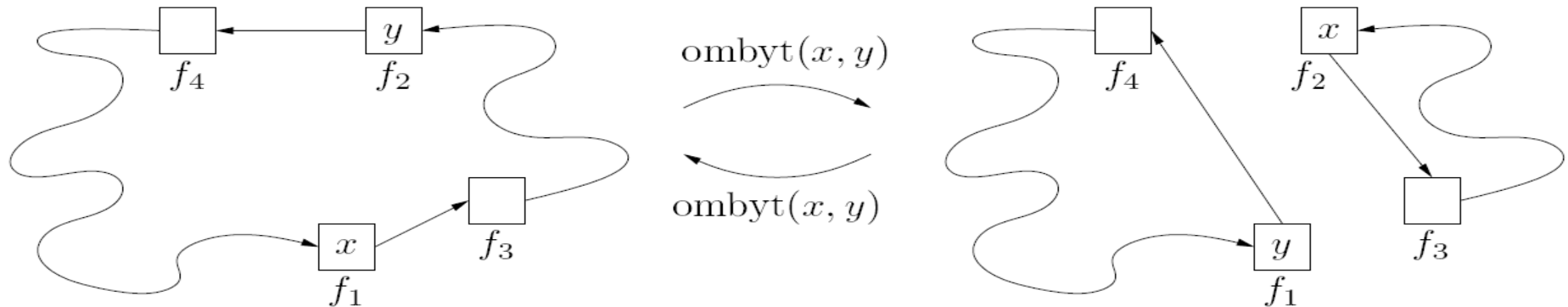
# Cykler (Permutationer)



Hver pil peger på brikkens korrekte plads

Definerer en mængde af cykler (fx cyklerne A,B,C,D)

# Ombytninger og Cykler



## Lemma

- En ombytning af to brikker i **samme cykel** øger antallet af cykler med én.
- En ombytning af to brikker fra to **forskellige cykler** reducerer antallet af cykler med én.

## Lemma

Når alle  $n$  brikker er korrekt placeret er der præcis  $n$  cykler.

## Lemma

For at løse et puslespil med  $n$  brikker og  $k$  cykler I starten kræves  $\geq n - k$  ombytninger.

Har vist en **nedre grænse** for  
**ALLE** algoritmer der løser problemet



# En (grådig) algoritme

Algoritme Puslespil

```
while der findes en brik  $x$  som ikke er placeret korrekt do  
    lad  $y$  være brikken på  $x$ 's korrekte plads  
    ombyt( $x, y$ )  
od
```

## Lemma

Algoritmen bytter aldrig om på brikker der står korrekt.

## Lemma

Algoritmen udfører  $\leq n - 1$  ombytninger

## Lemma

For at løse et puslespil med  $n$  brikker og  $k$  cykler I starten udfører algoritmen præcis  $n - k$  ombytninger.

Har vist en **øvre grænse** for en konkret algoritme

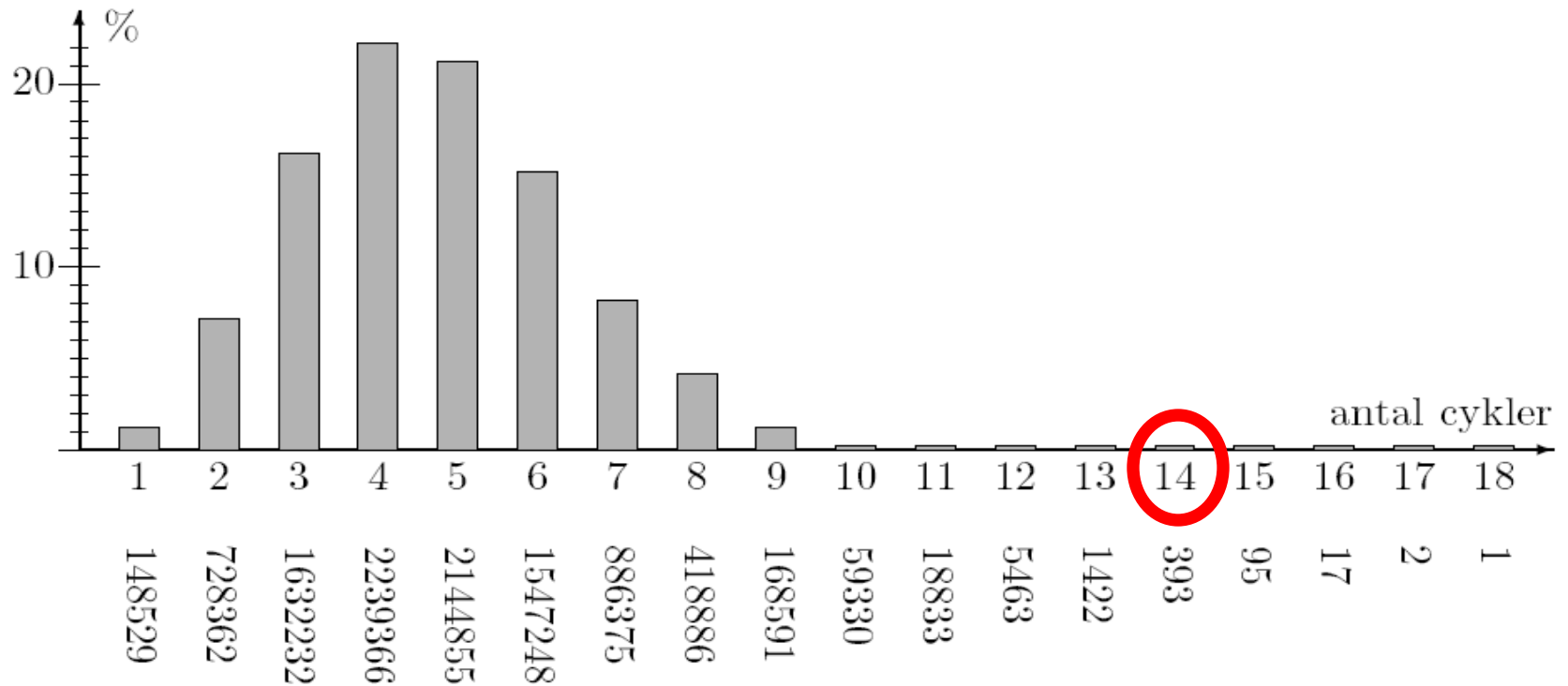
Algoritmen er **optimal** da antal ombytninger er bedst mulig

# Sætning

For at løse et puslespil med  $n$  brikker og  $k$  cykler i starten kræves præcis  $n - k$  ombytninger

# Fordelingen af antal cykler

$n = 64$ , 10.000.000 permutationer



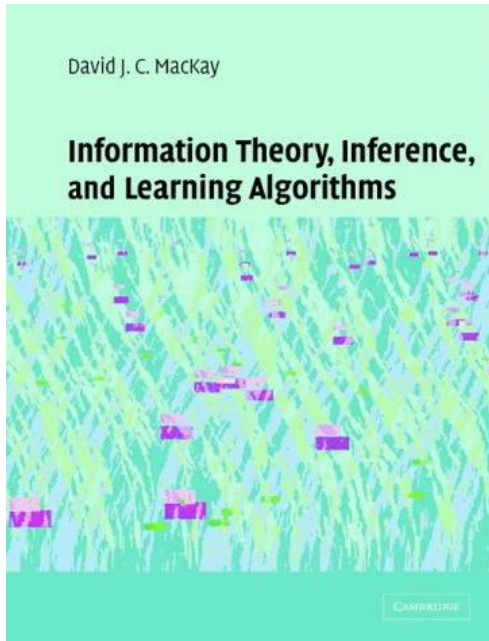
**Hvad har vi så lært... ?**



# Algoritmisk indsigt...

- **Matematisk indsigt** (cykler)
- **Resourceforbrug** (antal ombytninger)
- **Nedre grænse** ( $\geq n - k$  ombytninger)
- **Grådig algoritme**
- **Analyseret algoritmen** ( $\leq n - k$  ombytninger)
- **Optimal algoritme** (argumenteret bedst mulig)
- **Input afhængig resourceforbrug**

# Tilfældige permutationer...



Yderligere information kan findes i David J.C. MacKay, tillæg til *Information Theory, Inference, and Learning Algorithms*, om "Random Permutations", 4 sider.

<http://www.inference.phy.cam.ac.uk/mackay/itila/cycles.pdf>

**Et andet eksempel på en  
beregningsprocess...**

# Programming Pearls

Second Edition

**JON BENTLEY**

Bell Labs, Lucent Technologies  
Murray Hill, New Jersey

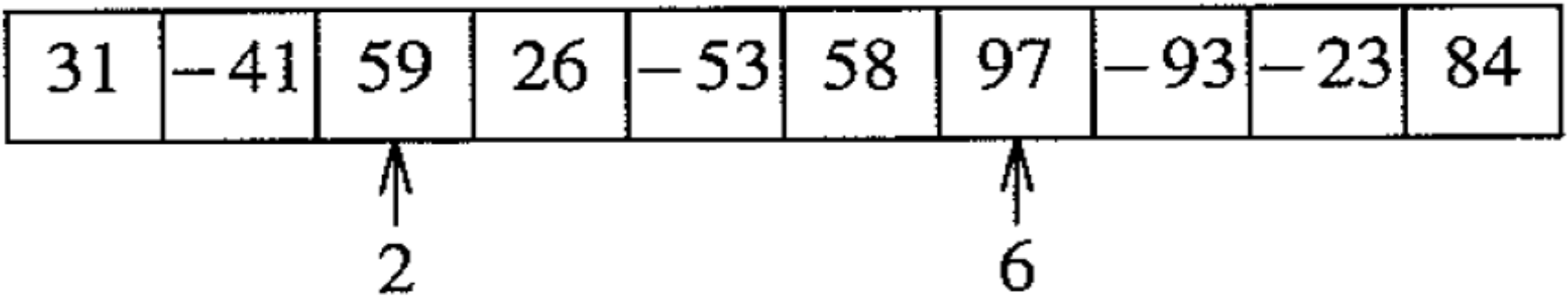


ACM Press  
New York, New York

◆ Addison-Wesley

Boston • San Francisco • New York • Toronto • Montreal  
London • Munich • Paris • Madrid  
Capetown • Sydney • Tokyo • Singapore • Mexico City

# Max-DeIsum





# Algoritme 1

```
1 maxsofar = 0
2 for i = [0, n)
3     for j = [i, n)
4         sum = 0
5         for k = [i, j]
6             sum += x[k]
7         /* sum is sum of x[i..j] */
8         maxsofar = max(maxsofar, sum)
```

Antal additioner:

$$\sum_{l=1}^n l(n-l+1) = (n+1) \sum_{l=1}^n l - \sum_{l=1}^n l^2 = (n+1) \frac{n(n+1)}{2} - \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} = \frac{n^3 + 3n^2 + 2n}{6}$$

# Algorithme 2

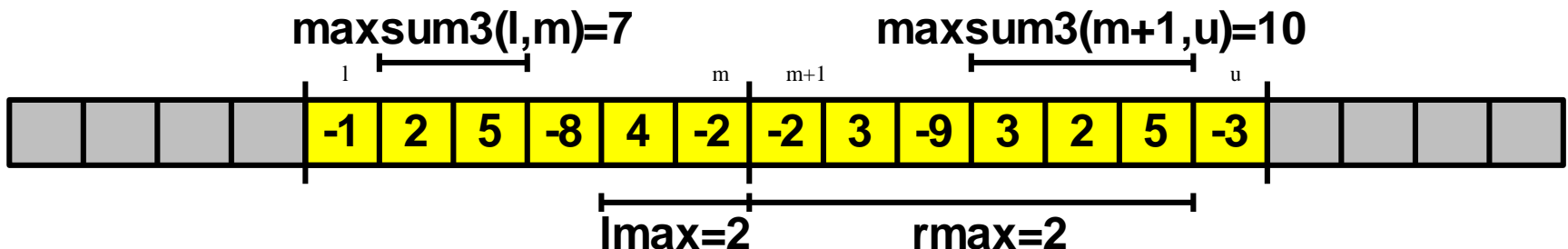
```
1 maxsofar = 0
2 for i = [0, n)
3     sum = 0
4     for j = [i, n)
5         sum += x[j]
6         /* sum is sum of x[i..j] */
7         maxsofar = max(maxsofar, sum)
```

# Algorithme 2b

```
1 cumarr[-1] = 0
2 for i = [0, n)
3     cumarr[i] = cumarr[i-1] + x[i]
4 maxsofar = 0
5 for i = [0, n)
6     for j = [i, n)
7         sum = cumarr[j] - cumarr[i-1]
8         /* sum is sum of x[i..j] */
9         maxsofar = max(maxsofar, sum)
```

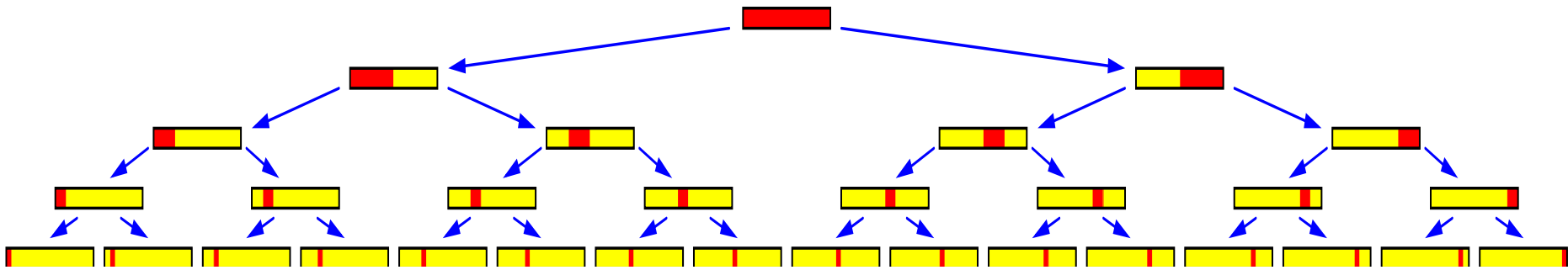
# Algorithme 3

```
1 answer := maxsum3(0, n-1)
2 float maxsum3(l, u)
3     if (l > u) /* zero elements */
4         return 0
5     if (l == u) /* one element */
6         return max(0, x[l])
7
8     m = (l + u) / 2
9     /* find max crossing to left */
10    lmax = sum = 0
11    for (i = m; i >= l; i--)
12        sum += x[i]
13        lmax = max(lmax, sum)
14    /* find max crossing to right */
15    rmax = sum = 0
16    for i = (m, u]
17        sum += x[i]
18        rmax = max(rmax, sum)
19
20    return max(lmax+rmax, maxsum3(l, m), maxsum3(m+1, u))
```



# Algoritme 3 : Analyse

## Rekursionstræet



## Observation

Samlet mængde additioner per lag er  $\sim n$

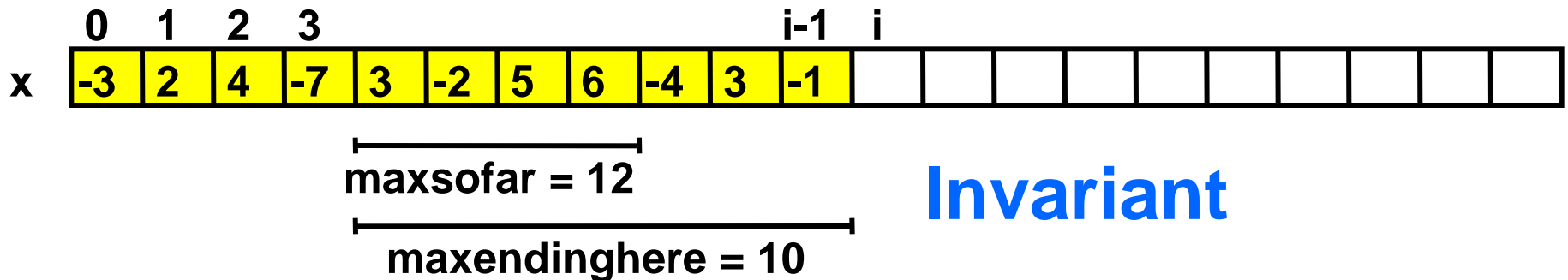
## Additioner

# additioner  $\sim n \cdot \# \text{ lag} \sim n \cdot \log_2 n$



# Algorithme 4

```
1 maxsofar = 0
2 maxendinghere = 0
3 for i = [0, n)
4     /* invariant: maxendinghere and maxsofar
5        are accurate for x[0..i-1] */
6     maxendinghere = max(maxendinghere + x[i], 0)
7     maxsofar = max(maxsofar, maxendinghere)
```



# Max-Delsum: Algoritmiske idéer

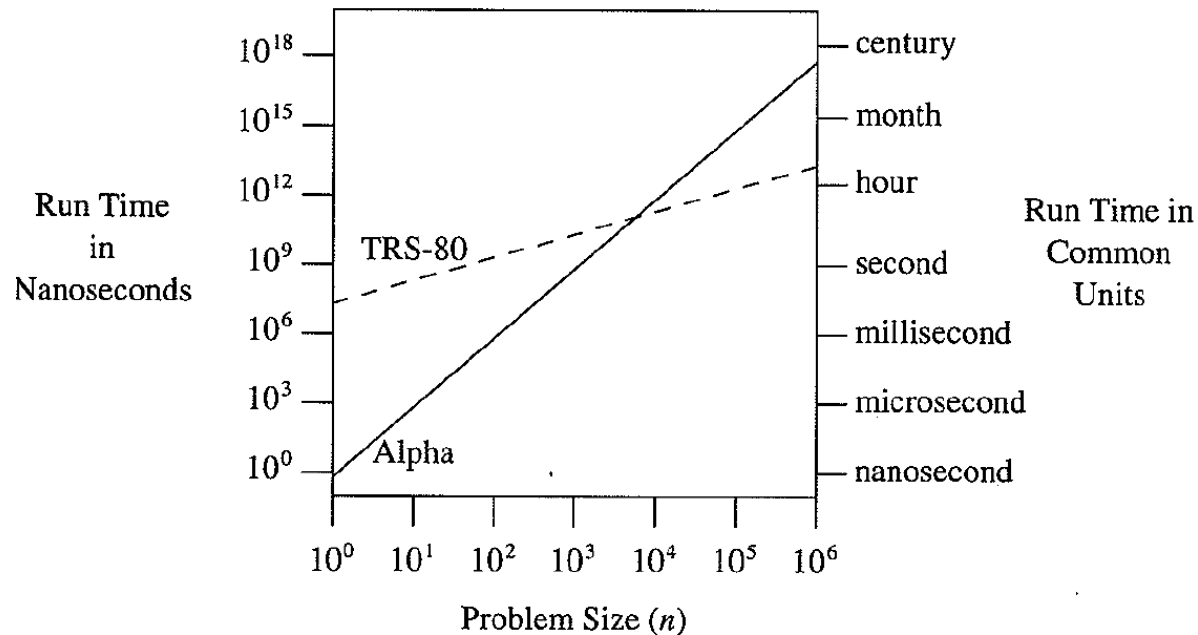
Algoritme	# additioner	Idé
1	$\sim n^3$	Naive løsning
$2 + 2b$	$\sim n^2$	<b>Genbrug beregninger</b> $\text{sum}(x[i..j]) = \text{sum}(x[i..j-1]) + x[j]$ $\text{sum}(x[i..j]) = \text{sum}(x[0..j]) - \text{sum}(x[0..i-1])$
3	$\sim n \cdot \log n$	Del-og-kombiner
4	$\sim n$	Inkrementel

# Sammenligning

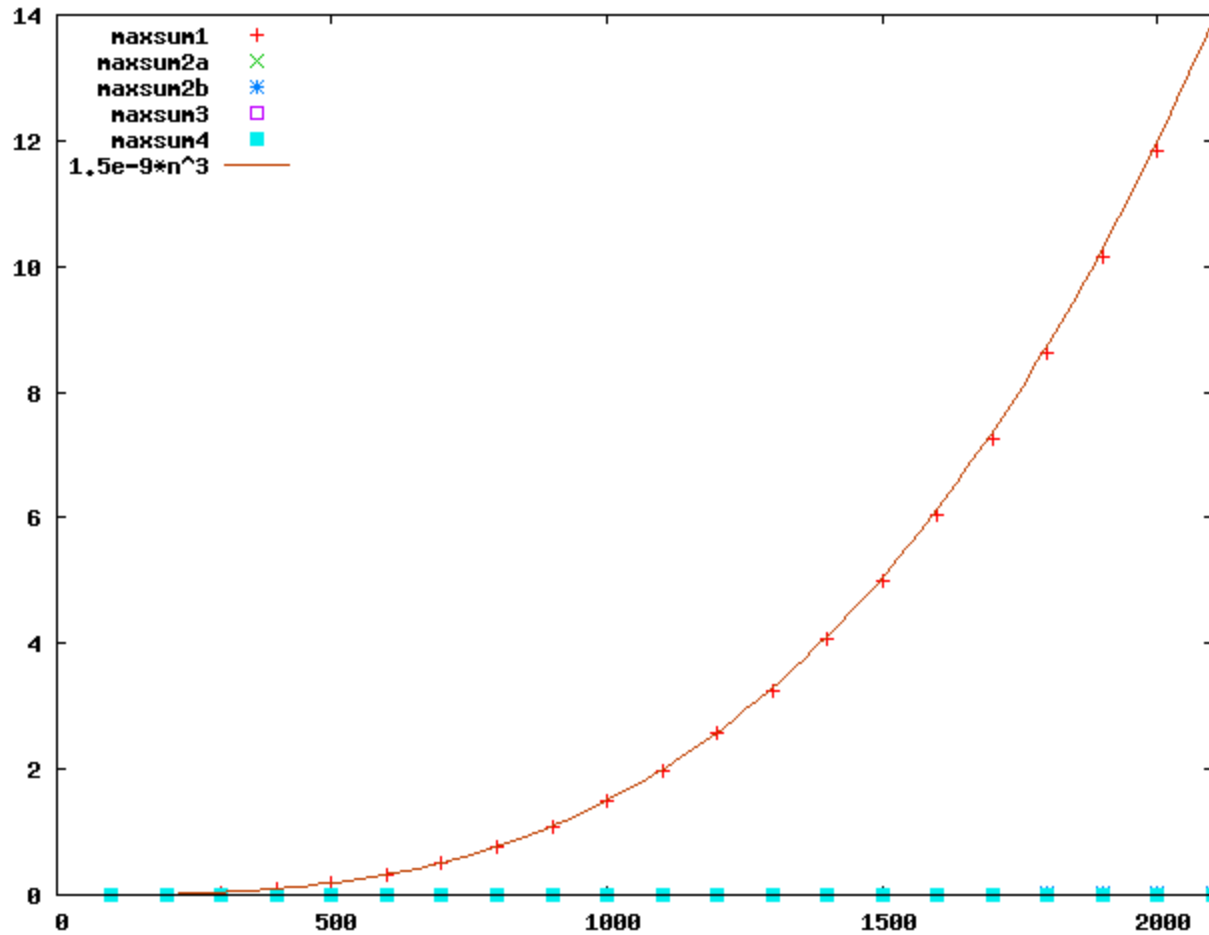
ALGORITHM		1	2	3	4
Run time in nanoseconds		$1.3n^3$	$10n^2$	$47n \log_2 n$	$48n$
Time to solve a problem of size	$10^3$	1.3 secs	10 msecs	.4 msecs	.05 msecs
	$10^4$	22 mins	1 sec	6 msecs	.5 msecs
	$10^5$	15 days	1.7 min	78 msecs	5 msecs
	$10^6$	41 yrs	2.8 hrs	.94 secs	48 msecs
	$10^7$	41 millennia	1.7 wks	11 secs	.48 secs
Max size problem solved in one	sec	920	10,000	$1.0 \times 10^6$	$2.1 \times 10^7$
	min	3600	77,000	$4.9 \times 10^7$	$1.3 \times 10^9$
	hr	14,000	$6.0 \times 10^5$	$2.4 \times 10^9$	$7.6 \times 10^{10}$
	day	41,000	$2.9 \times 10^6$	$5.0 \times 10^{10}$	$1.8 \times 10^{12}$
If $n$ multiplies by 10, time multiplies by		1000	100	10+	10
If time multiplies by 10, $n$ multiplies by		2.15	3.16	10-	10

# Sammenligning: $n^3$ og $n$

$n$	ALPHA 21164A, C, CUBIC ALGORITHM	TRS-80, BASIC, LINEAR ALGORITHM
10	0.6 microseconds	200 milliseconds
100	0.6 milliseconds	2.0 secs
1000	0.6 secs	20 secs
10,000	10 mins	3.2 mins
100,000	7 days	32 mins
1,000,000	19 yrs	5.4 hrs

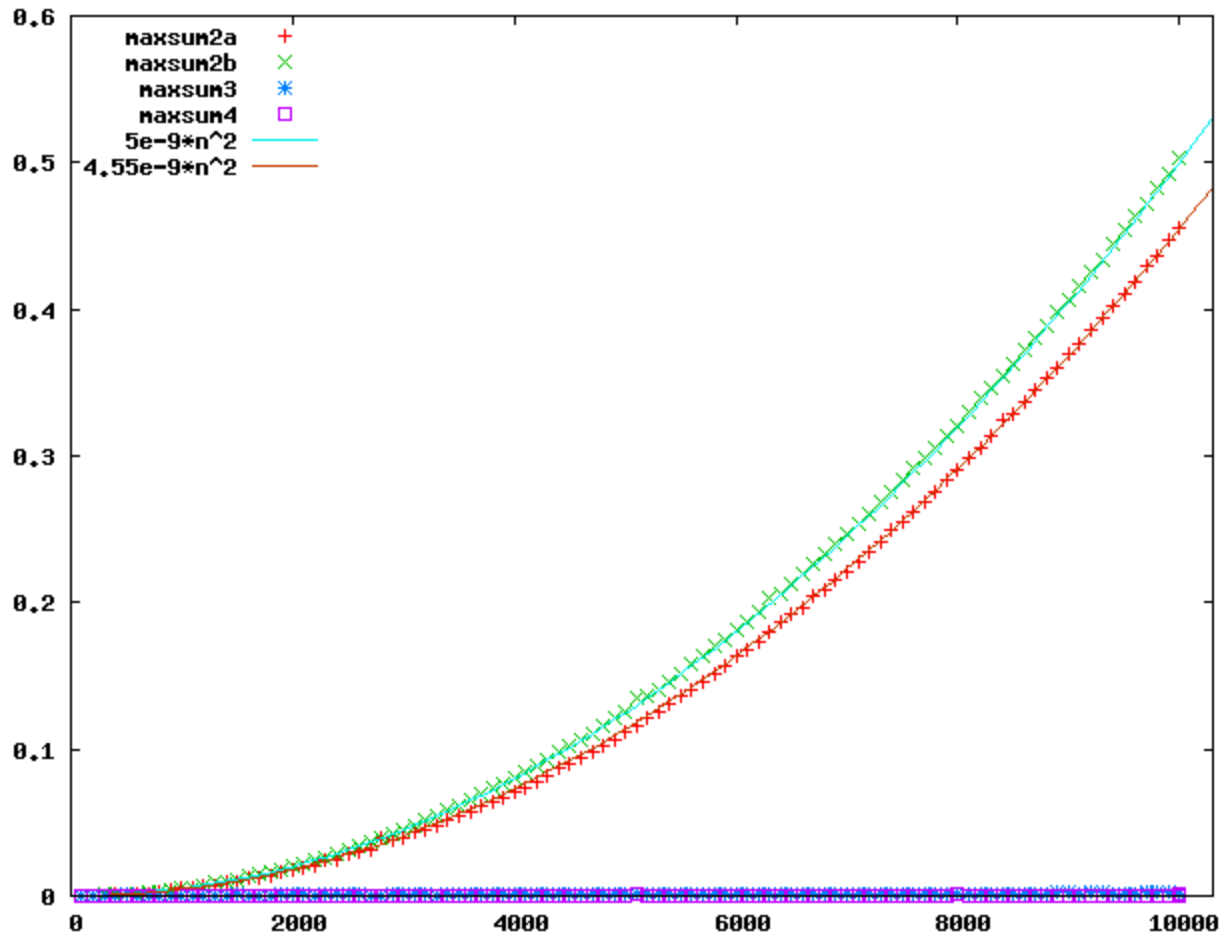


# Sammenligning 2009



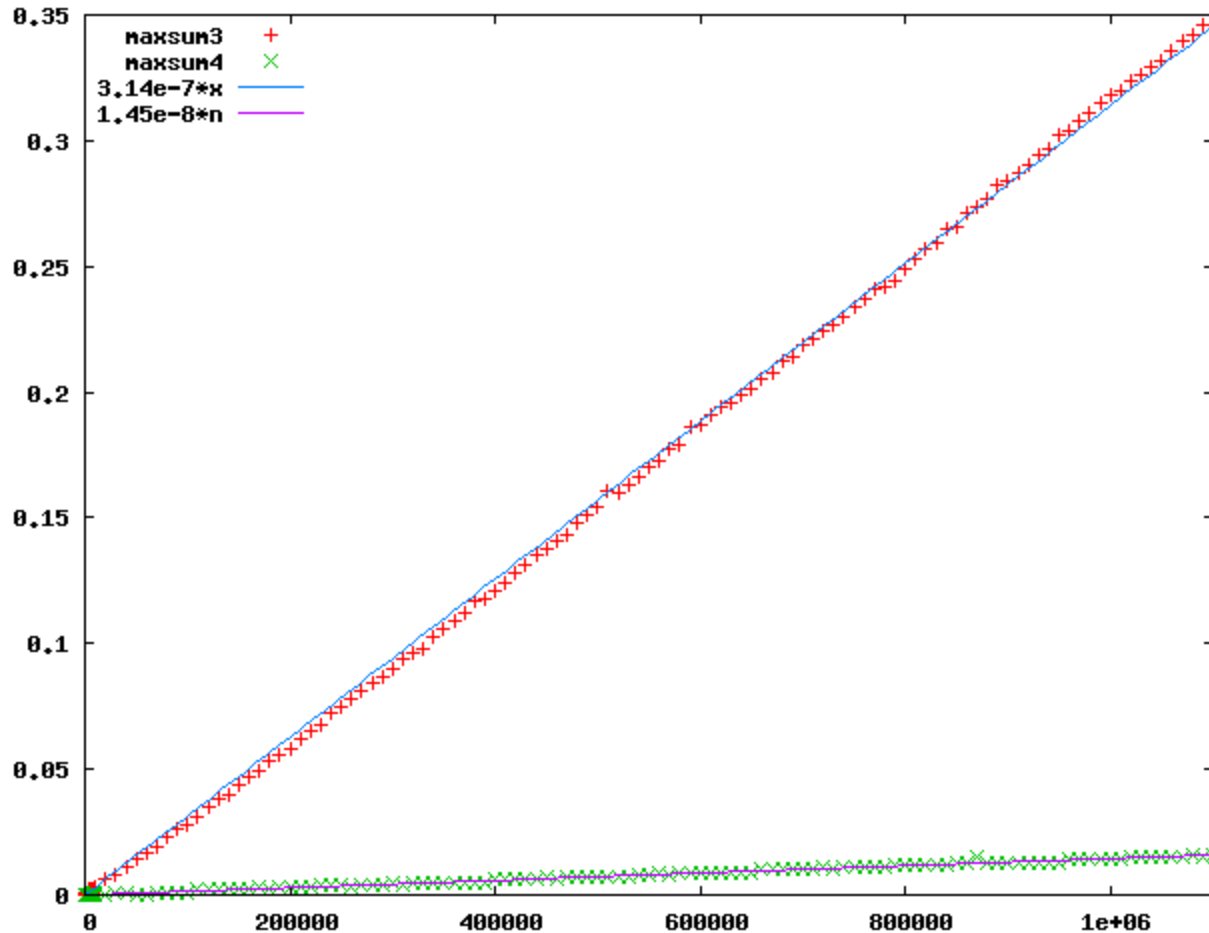
$$\text{maxsum1} \approx n^3$$

# Sammenligning 2009



maxsum2a og maxsum2b  $\approx n^2$

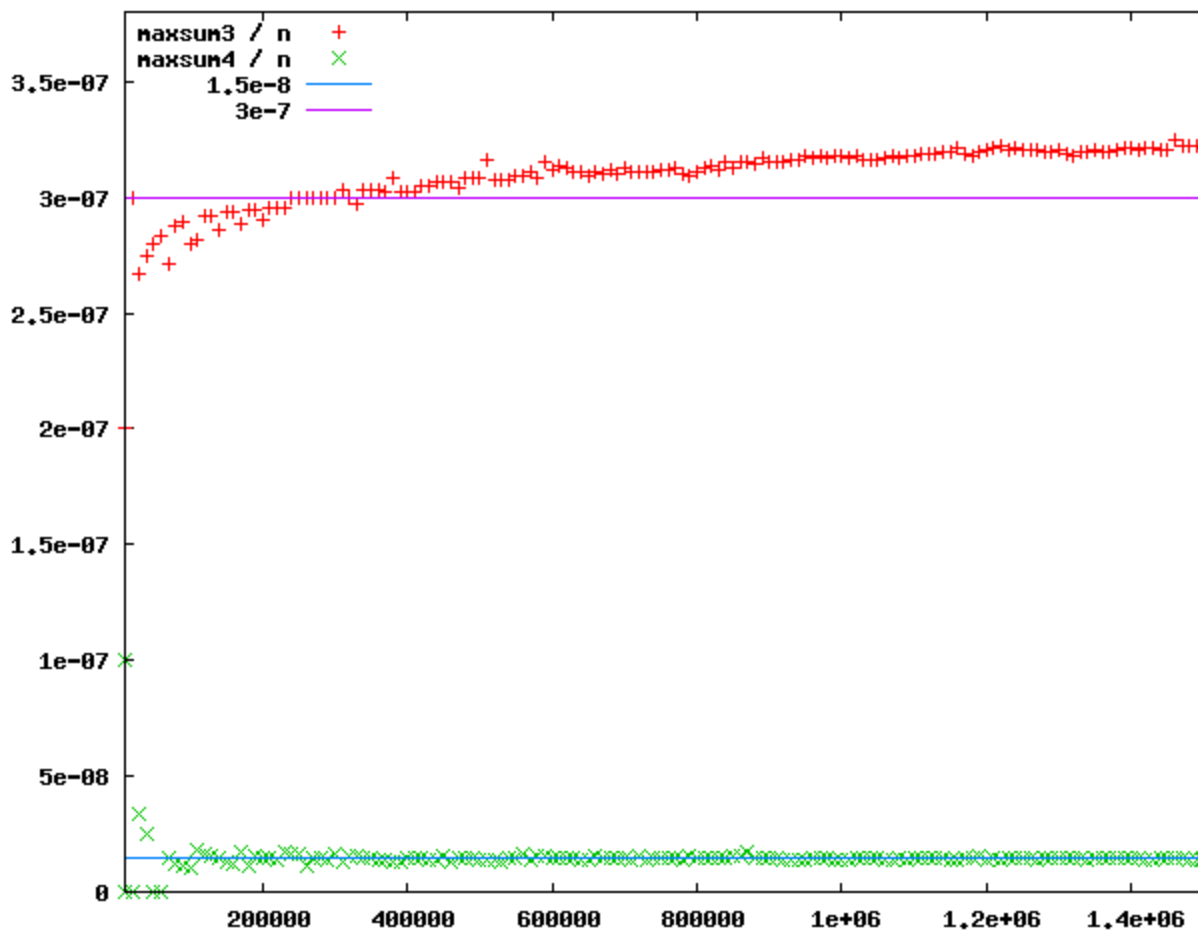
# Sammenligning 2009



maxsum3 og maxsum4  $\approx n$  ???

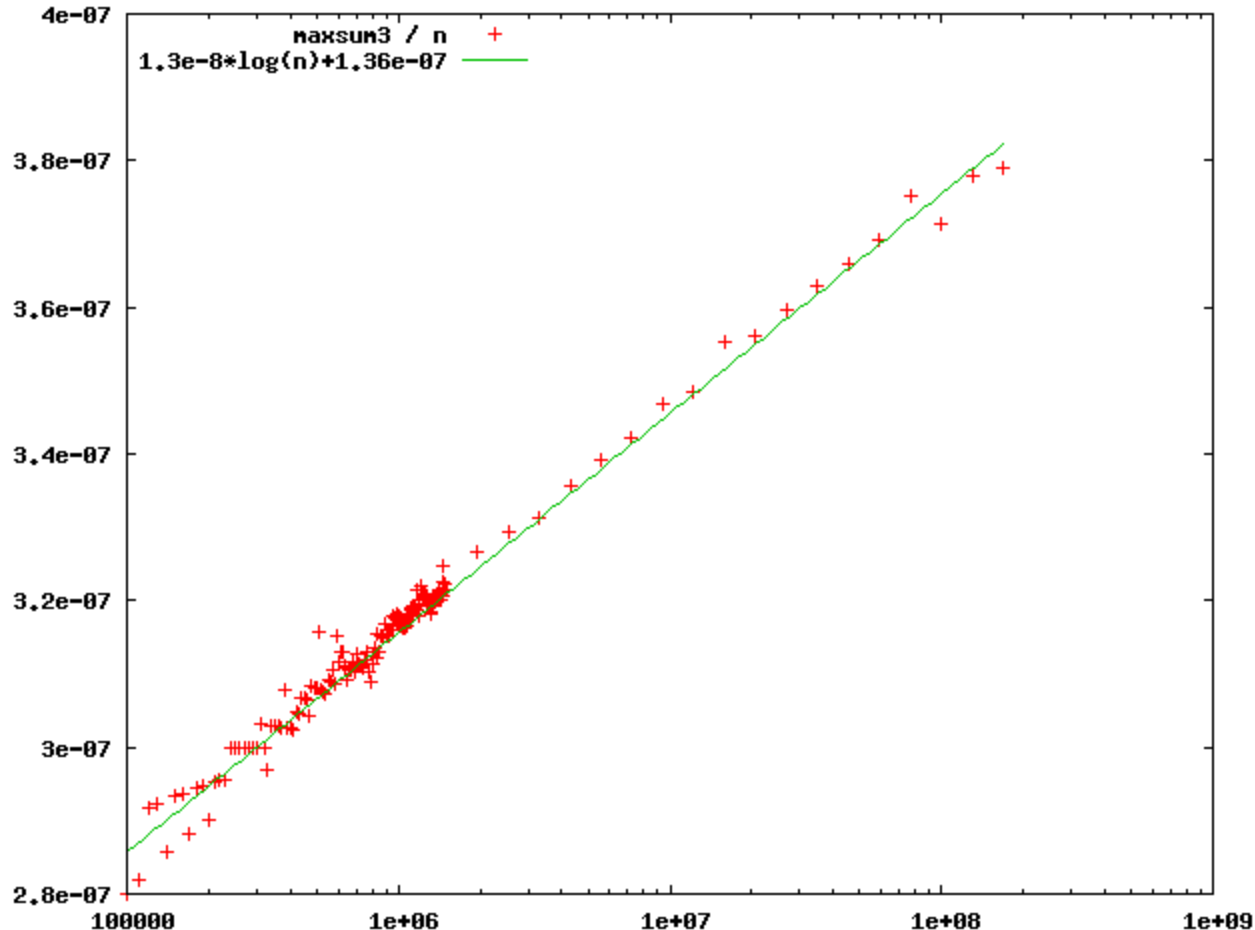


# Sammenligning 2009



$$\text{maxsum4} \approx n$$

# Sammenligning 2009



$$\text{maxsum3} \approx c_1 \cdot n \cdot \log n + c_2 \cdot n$$

x-akse =  $n$ , y = sekunder, hvert eksperiment gennemsnit af 10 kørsler (gcc 4.1.2, C, Linux 2.6.18, Intel Xeon 3 GHz)

# Algoritmisk indsigt...

- Gode idéer kan give hurtige algoritmer
- Generelle algoritme teknikker
  - Del-og-kombiner
  - Inkrementel
- Analyse af udførelsestid (her additioner)
- Argumenteret for korrektheden
- Invarianter