

MA2001 Envariabelanalys

Något om derivator del 2

Mikael Hindgren



HÖGSKOLAN
I HALMSTAD

11 november 2024

Derivatan av inversen till en funktion

Exempel 1

$y = f(x) = \sqrt{x}$ är strängt växande och har en invers.
 Bestäm $Df(x)$ och $Df^{-1}(y)$.

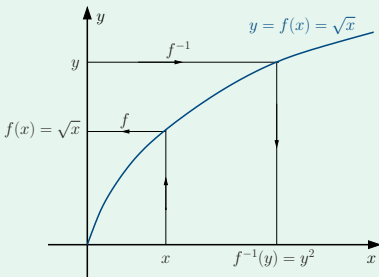
Lösning:

$$f(x) = \sqrt{x} = x^{1/2}$$

$$\Rightarrow Df(x) = \frac{1}{2}x^{-1/2} = \frac{1}{2\sqrt{x}}$$

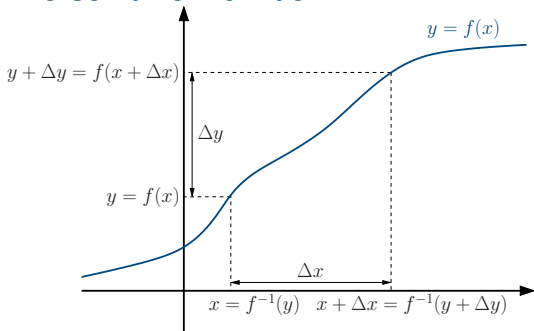
$$\text{Inversen: } y = \sqrt{x} \Leftrightarrow x = y^2, y \geq 0.$$

$$\therefore f^{-1}(y) = y^2 \Rightarrow Df^{-1}(y) = 2y$$



Anm: $Df^{-1}(y) = 2y = 2\sqrt{x} = \frac{1}{\frac{1}{2\sqrt{x}}} = \frac{1}{Df(x)}$. Gäller detta allmänt?

Derivatan av inversen till en funktion



$$\frac{f^{-1}(y + \Delta y) - f^{-1}(y)}{\Delta y} = \frac{1}{\frac{\Delta y}{f^{-1}(y + \Delta y) - f^{-1}(y)}} = \frac{1}{\frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x}}$$

$$\rightarrow \frac{1}{Df(x)} \text{ då } \Delta x \rightarrow 0 \text{ dvs då } \Delta y \rightarrow 0$$

Sats 1 (Derivatan av invers)

$$Df^{-1}(y) = \frac{1}{Df(x)} \text{ om } f'(x) \neq 0$$

Derivatan av inversen till en funktion

Exempel 2

Bestäm $D \arctan x$.

$$y = \arctan x \Leftrightarrow x = \tan y, \quad -\frac{\pi}{2} < y < \frac{\pi}{2}$$

$$\Rightarrow D \arctan x = \frac{1}{D \tan y} = \frac{1}{1 + \tan^2 y} = \frac{1}{1 + x^2}$$

Sammanfattning av deriveringsregler

- 1 $D(f + g) = f' + g'$
- 2 $D(f \cdot g) = f'g + fg'$
- 3 $D\left(\frac{f}{g}\right) = \frac{f'g - fg'}{g^2}$
- 4 $Df(g(x)) = f'(g(x))g'(x)$
- 5 $Df^{-1}(y) = \frac{1}{Df(x)}$ om $f'(x) \neq 0$

Högre derivator

- Derivatan av $f'(x)$ kallas andra-derivatan.

Beteckningar: $f''(x)$, $f^{(2)}(x)$, $D^2(f(x))$, $\frac{d^2 f}{dx^2}$

- Pss betecknas n :te-derivatan: $f^{(n)}(x)$, $D^n(f(x))$, $\frac{d^n f}{dx^n}$

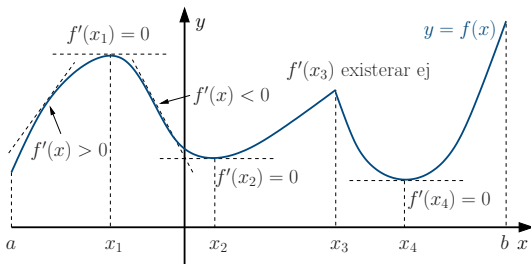
Exempel 3

Bestäm $D^5 \ln x$.

Lösning:

$$\begin{aligned}
 D \ln x &= \frac{1}{x} = x^{-1} \\
 \Rightarrow D^2 \ln x &= (-1)x^{-2} \\
 \Rightarrow D^3 \ln x &= (-2)(-1)x^{-3} \\
 \Rightarrow D^4 \ln x &= (-3)(-2)(-1)x^{-4} \\
 \Rightarrow D^5 \ln x &= (-4)(-3)(-2)(-1)x^{-5} = (-1)^4 4! x^{-5}
 \end{aligned}$$

Allmänt: $D^n \ln x = (-1)^{n-1} (n-1)! x^{-n}$



- f har **lokalt maximum** i x_1, x_3, b ← **lokala maximipunkter**
- f har **lokalt minimum** i x_2, x_4, a ← **lokala minimipunkter**
- $f'(x_1) = f'(x_2) = f'(x_4) = 0 \Rightarrow x_1, x_2, x_4$ är **stationära punkter**
- Lokala max- och min-punkter/värden kallas **lokala extrempunkter/värden**

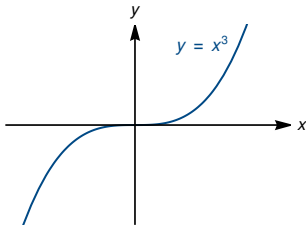
Sats 2

Om f har ett lokalt extremvärde i en inre punkt x_0 i definitionsområdet och om $f(x)$ är deriverbar så är $f'(x_0) = 0$.

Extremvärden

Är x_0 alltid en extrempunkt om $f'(x_0) = 0$?

$$\text{Ex: } f(x) = x^3 \Rightarrow f'(x) = 3x^2 \Rightarrow f'(0) = 0$$



x_0 är en **terasspunkt** dvs en stationär punkt som inte är en extrempunkt.

Sammanfattning

Om x_0 är en stationär punkt dvs om $f'(x_0) = 0$, så kan x_0 vara en lokal minimi-, maximi- eller terasspunkt.

Extremvärden

Antag att $f'(x_0) = 0$ och $f''(x_0) > 0$:

$$f''(x_0) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f'(x_0 + h) - f'(x_0)}{h} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f'(x_0 + h)}{h} > 0$$

För tillräckligt små h är alltså

$$\frac{f'(x_0 + h)}{h} > 0 \Rightarrow \begin{cases} f'(x_0 + h) < 0 & \text{om } h < 0 \\ f'(x_0 + h) > 0 & \text{om } h > 0 \end{cases} \Rightarrow f \text{ har ett lokalt minimum i } x_0$$

Gör vi motsvarande för fallet $f''(x_0) < 0$ får vi:

Sats 3

Om $f(x_0) = 0$ och $f''(x_0)$ existerar så gäller:

- 1 $f''(x_0) > 0 \Rightarrow f(x)$ har lokalt minimum i x_0
- 2 $f''(x_0) < 0 \Rightarrow f(x)$ har lokalt maximum i x_0

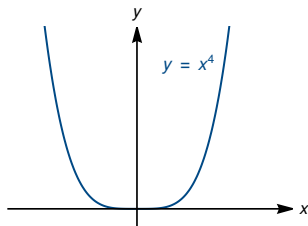
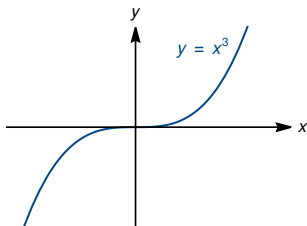
Anm: Om $f'(x_0) = f''(x_0) = 0$ kan man inte dra några slutsatser. x_0 kan vara en lokal maximi-, minimi- eller terrasspunkt.

- För $f(x) = x^3$ är $\begin{cases} f'(x) = 3x^2 \\ f''(x) = 6x \end{cases} \Rightarrow f'(0) = f''(0) = 0$

I det här fallet är $x = 0$ en terrasspunkt.

- För $f(x) = x^4$ är $\begin{cases} f'(x) = 4x^3 \\ f''(x) = 12x^2 \end{cases} \Rightarrow f'(0) = f''(0) = 0$

I det här fallet är $x = 0$ en minimipunkt.

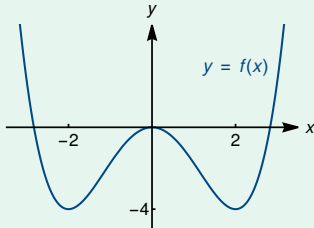


Exempel 4

Bestäm alla lokala extremvärden till $f(x) = \frac{x^4 - 8x^2}{4}$.

$$f'(x) = x^3 - 4x = x(x^2 - 4) = 0 \Leftrightarrow x = 0 \text{ eller } x = \pm 2$$

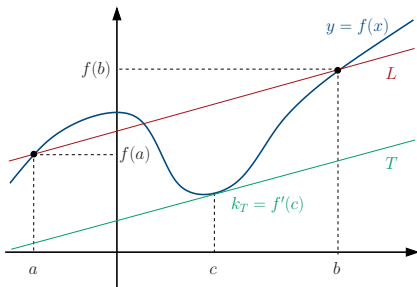
$$f''(x) = 3x^2 - 4 \Rightarrow \begin{cases} f''(-2) = 8 > 0 & \Rightarrow \text{lokalt min } f(-2) = -4 \\ f''(0) = -4 < 0 & \Rightarrow \text{lokalt max } f(0) = 0 \\ f''(2) = 8 > 0 & \Rightarrow \text{lokalt min } f(2) = -4 \end{cases}$$



Medelvärdessatsen

- Vi studerar en deriverbar funktion $f(x)$ i intervallet $[a, b]$
- Drag en linje L mellan punkterna $(a, f(a))$ och $(b, f(b))$.
- Då är

$$k_L = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{f(b) - f(a)}{b - a}$$



Det finns minst en punkt $x = c \in]a, b[$ sådan att tangenten T till $y = f(x)$ i $x = c$ är parallell med L dvs

$$k_L = k_T \Leftrightarrow \frac{f(b) - f(a)}{b - a} = f'(c)$$

Sats 4 (Medelvärdessatsen)

Om f är kontinuerlig i $[a, b]$ och deriverbar i $]a, b[$ så finns det ett $c \in]a, b[$ sådant att

$$f(b) - f(a) = f'(c)(b - a)$$

Exempel 5

Visa att $e^{-x} - \frac{5x}{4} = 0$ har en rot $x = b$ i intervallet $[0, 1]$ och uppskatta felet i approximationen $b \approx 0.5$.

Lösning:

Vi visar först att ekvationen har en rot i $[0, 1]$:

$$\begin{aligned} \text{Sätt } f(x) &= e^{-x} - \frac{5x}{4} \\ &\Rightarrow f(x) \text{ är kontinuerlig och strängt avtagande} \\ &\Rightarrow f(x) \text{ har högst nollställe } x = b. \\ f(0) &= 1 > 0 \\ f(1) &= \frac{1}{e} - \frac{5}{4} < \frac{1}{2} - \frac{5}{4} = -\frac{3}{4} < 0 \\ &\Rightarrow f(x) \text{ har ett nollställe i }]0, 1[\end{aligned}$$

Exempel 5 (forts)

Vi kan använda medelvårdessatsen för att uppskatta storleken av felet $|b - 0.5|$:

Medelvårdessatsen

Om f är kontinuerlig i $[a,b]$ och deriverbar i $]a,b[$ så finns det ett $c \in]a, b[$ sådant att

$$f(b) - f(a) = f'(c)(b - a)$$

$$\underbrace{f(b) - f(0.5)}_{=0} = f'(c)(b - 0.5) \Rightarrow \underbrace{|b - 0.5|}_{\text{felet}} = \frac{|f(0.5)|}{|f'(c)|}$$

$$|f'(x)| = \left| -e^{-x} - \frac{5}{4} \right| = e^{-x} + \frac{5}{4} = \frac{1}{e^x} + \frac{5}{4}$$

$$\underset{x \in [0,1]}{>} \frac{1}{e^1} + \frac{5}{4} > \frac{1}{3} + \frac{5}{4} = \frac{4 + 15}{12} = \frac{19}{12}$$

$$\Rightarrow |b - 0.5| < \frac{|e^{-0.5} - \frac{5 \cdot 0.5}{4}|}{\frac{19}{12}} = \frac{|\frac{1}{\sqrt{e}} - \frac{5}{8}|}{\frac{19}{12}} \approx 0.01166 < 0.02$$

\therefore Roten $b = 0.5 \pm 0.02$

Växande och avtagande

Sats 5

- 1 $f'(x) = 0$ för alla $x \in I \Leftrightarrow f(x)$ är konstant i I .
- 2 $f'(x) \geq 0$ för alla $x \in I \Leftrightarrow f(x)$ är växande i I .
- 3 $f'(x) > 0$ för alla $x \in I \Rightarrow f(x)$ är strängt växande i I .

Motsvarande gäller för (strängt)avtagande

Exempel 6

Visa att $e^x \geq 1 + x$ för alla x .

Exempel 7

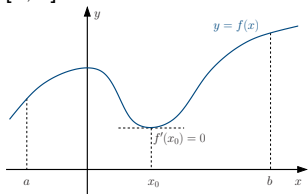
Rita kurvan $y = f(x) = \frac{x^3}{x^2 - 3}$. (Tenta 020327, uppg 2, 5p)

Exempel 8

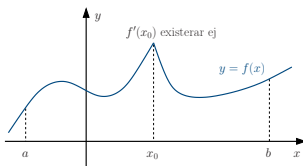
Rita kurvan $y = f(x) = \frac{x^2 + 3}{x} + 4 \arctan x$. (Tenta 070111, uppg 3, 5p)

Optimering

Var och när antar en kontinuerlig funktion största och minsta värde i ett intervall $[a, b]$?



- maximum i b (ändpunkt)
- minimum i x_0 ($f'(x_0) = 0$)



- maximum i x_0 $f'(x_0)$ existerar ej
- minimum i a (ändpunkt)

Sats 6

Om f är kontinuerlig i $[a, b]$ så har f ett maximum och ett minimum i $[a, b]$ vilka antas i någon av följande punkter:

- 1 a eller b
- 2 en punkt $x_0 \in]a, b[$ sådan att $f'(x_0)$ inte existerar
- 3 en punkt $x_0 \in]a, b[$ sådan att $f'(x_0) = 0$

Exempel 9

En bonde ska göra en rektangulär inhägnad av 100 m staket. Ena sidan av inhägnaden utgörs av en bäck och behöver inget staket. Vilken är den största möjliga arean av inhägnaden?

Exempel 10

En cylinder är inskriven i en kon. Hur stor del av konens volym kan cylindern högst uppta?

Exempel 11

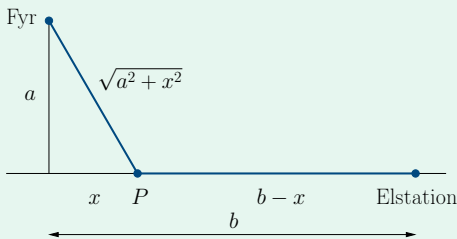
En fyr ligger i havet 5 km utanför en lång rak strand där det finns en elstation. Sträckan mellan elstationen och den punkt på stranden som har det kortaste avståndet till fyren är $b = 10$ km.

Pelle ska dra kabel från fyren över havet till en punkt P på stranden och sedan därifrån till elstationen. Kostnaden att dra kabel på land är 25 kr/m och i havet är det dubbelt så dyrt.

- Var på stranden ska punkten P ligga för att kostnaden för kabeldragningen ska minimeras?
- Ändras svaret om $b = 2.5$ km och i så fall hur?

Exempel 11 (forts)

Lösning:



- Sätt $k_l = 25$ kr/m och $k_h = 2k_l = 50$ kr/m.
- Totala kostnaden för kabeldragningen ges då av funktionen

$$K(x) = k_h \sqrt{a^2 + x^2} + k_l(b - x) = k_l(2\sqrt{a^2 + x^2} + b - x), \quad 0 \leq x \leq b$$

- Eftersom $K(x)$ är deriverbar (\Rightarrow kontinuerlig) i $I = [0, b]$ antar K sitt minsta värde i någon av I 's ändpunkter eller i en punkt x_0 där $K'(x_0) = 0$.

Exempel 11 (forts)

Eventuella stationära punkter till $K(x) = k_l(2\sqrt{a^2 + x^2} + b - x)$ ges av:

$$K'(x) = k_l \left(2 \frac{1}{2\sqrt{a^2 + x^2}} \cdot 2x - 1 \right) = \frac{k_l(2x - \sqrt{a^2 + x^2})}{\sqrt{a^2 + x^2}} = 0$$

$$\Leftrightarrow 2x - \sqrt{a^2 + x^2} = 0 \quad \Leftrightarrow_{a \geq 0, x \geq 0} x = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

Eftersom $b = 2a$ får vi:

$$K(0) = k_l(2\sqrt{a^2 + 0^2} + b - 0) = k_l(2a + b) = 4k_l a$$

$$K\left(\frac{a}{\sqrt{3}}\right) = k_l \left(2\sqrt{a^2 + \frac{a^2}{3}} + b - \frac{a}{\sqrt{3}} \right) = k_l(\sqrt{3}a + b) = (2 + \sqrt{3})k_l a < K(0)$$

$$K(b) = k_l(2\sqrt{a^2 + b^2} + b - b) = 2k_l\sqrt{a^2 + b^2} = 2\sqrt{5}k_l a > K(0)$$

\therefore Kostnaden blir minst om punkten P ligger $10 - \frac{5}{\sqrt{3}} \approx 7.1$ km från elstationen

$$\Rightarrow K_{\min} = K\left(\frac{a}{\sqrt{3}}\right) = (2 + \sqrt{3})k_l a \approx 466500 \text{ kr}$$

Exempel 11 (forts)

Om $b = \frac{a}{2} = 2.5$ km: $K(x)$ och derivatans nollställe $a/\sqrt{3} \approx 2.89$ påverkas inte men nollstället ligger utanför intervallet $[0, b = 2.5]$

$\Rightarrow f(\frac{a}{\sqrt{3}})$ kan inte vara funktionens minsta värde

\Rightarrow minsta värdet måste antas i någon av ändpunkterna:

$$K(0) = k_l(2\sqrt{a^2 + 0^2} + b - 0) = k_l(2a + b) = k_l(2a + \frac{a}{2}) = \frac{5ak_l}{2}$$

$$\begin{aligned} K(b) &= k_l(2\sqrt{a^2 + b^2} + b - b) = 2k_l\sqrt{a^2 + b^2} = 2k_l\sqrt{a^2 + \frac{a^2}{4}} \\ &= \sqrt{5}k_la < K(0) \end{aligned}$$

\therefore Minsta kostnaden får vi om vi drar kabeln direkt från fyren till elstationen

$$\Rightarrow K_{\min} = K(b) = \sqrt{5}k_la \approx 279500 \text{ kr}$$