

Statistik och Dataanalys I

Föreläsning 19 - Inferens i linjär regression - populationsmodell och samplingfördelning

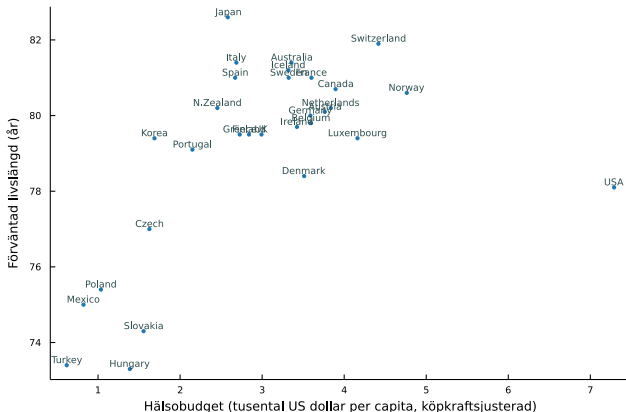
Oskar Gustafsson

Statistiska institutionen
Stockholms universitet

- Inferens i enkel linjär regression
- Regression som sannolikhetsmodell
- Samplingfördelning regression

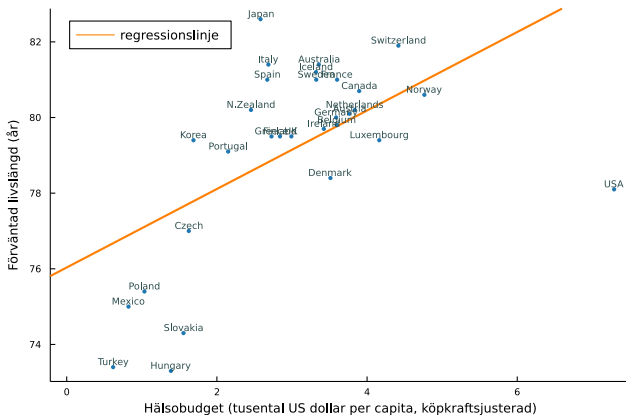
Samband - hälsovårdsbudget och livslängd

sda123 lifespan



Källa: boken '[Regression and other stories](#)' och OECD.

Regression - hälsovårdsbudget och livslängd



Anpassad regressionslinje och tolkning

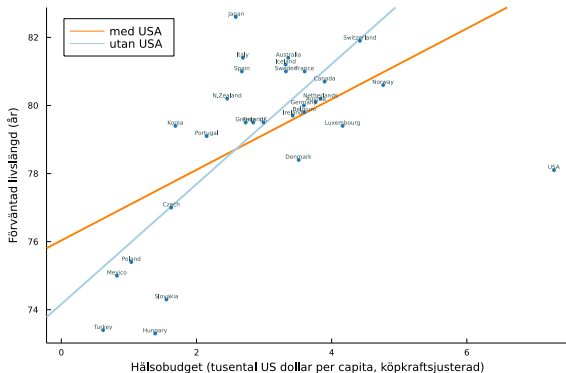
- Skattad regressionslinje hälsobudget (x) \rightarrow livslängd (y)

$$\text{lifespan} = 76.035 + 1.03757 \cdot \text{spending}$$

$$\hat{y} = \underbrace{76.035}_{b_0} + \underbrace{1.038}_{b_1} \cdot x$$

- Tolkning **intercept** b_0 : **genomsnittlig** livslängd är ca 76 år om $\text{spending} = 0$.
- Tolkning **lutning** b_1 : **genomsnittlig** livslängd ökar med 1.038 år om spending ökar med 1 (tusen US dollar per capita).

Inflytelserika observationer



Med USA

$$\text{lifespan} = 76.035 + 1.038 \cdot \text{spending}$$

Utan USA

$$\text{lifespan} = 74.164 + 1.763 \cdot \text{spending}$$

Minsta kvadrat-metoden

- Anpassat värde/prediktion för i :te observationen

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1 x_i$$

- Residual

$$e_i = y_i - \hat{y}_i$$

- Minsta kvadrat-skattning: välj b_0 och b_1 som minimerar

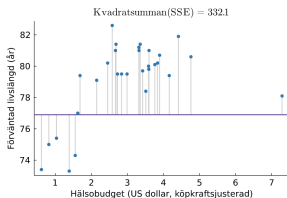
$$SSE = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - b_0 - b_1 x_i)^2$$

Regressionskoefficienter

a.

b.

Skriv ut landsnamn:

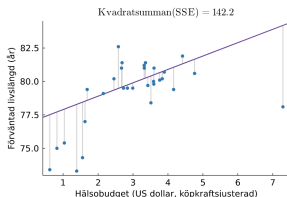


Regressionskoefficienter

a.

b.

Skriv ut landsnamn:



Regression i R

```
> library(sda123)
> lifespan_no_usa = lifespan[1:29,] # remove the outlier USA
> model = lm(lifespan ~ spending, data = lifespan_no_usa)
> summary(model)
```

Call:

```
lm(formula = lifespan ~ spending, data = lifespan_no_usa)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-3.3108	-0.7016	-0.0507	1.1458	3.8860

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	74.1639	0.8782	84.45	< 2e-16 ***
spending	1.7629	0.2890	6.10	1.63e-06 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.678 on 27 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.5795, Adjusted R-squared: 0.5639

F-statistic: 37.21 on 1 and 27 DF, p-value: 1.626e-06

Residualvarians

- Residualvariansen - hur bra regressionslinjen passar data:

$$s_e^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 2}$$

- Kom ihåg: stickprovsvariansen delar med $n - 1$ eftersom vi måste beräkna \bar{y} först:

$$s_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}$$

- Residualvariansen delar med $n - 2$ eftersom vi måste beräkna både b_0 och b_1 först. **Väntevärdesriktig.**
- Residualstandardavvikelsen (residual standard error i R)

$$s_e = \sqrt{s_e^2}$$

- Hälsobudgetdata

$$s_e^2 = \frac{76.056}{29 - 2} \approx 2.817 \qquad s_e = \sqrt{2.817} \approx 1.678 \text{ år}$$

Regression som sannolikhetsmodell

- **Populationsmodell** för enkel regression:

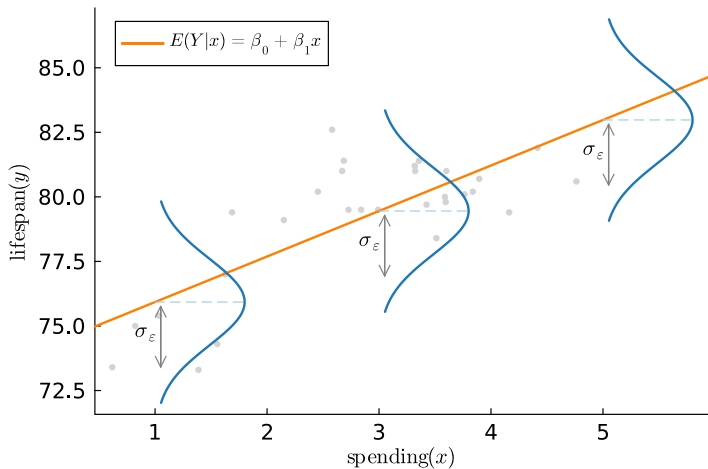
$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon, \quad \varepsilon \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$$

- β_0 är interceptet i populationen/modellen.
- β_1 är lutningen på regressionslinjen i populationen.
- **Regressionslinjen** i populationen är ett **betingat väntevärde**:

$$E(Y|x) = \beta_0 + \beta_1 x$$

- β_1 : hur Y förändras **i genomsnitt** när x ökar med en enhet.
- “i genomsnitt” = (betingat) väntevärde.
- Responsvariabeln y kommer avvika från populationens regressionslinje med en **slumpmässig “felterm”** ε .

Regression som modell för betingad fördelning



Regression som sannolikhetsmodell

- **Populationsmodell** för hela stickprovet:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i, \quad \varepsilon_i \sim N(0, \sigma_\varepsilon)$$

- **Stickprov/datamaterial** med n observationspar

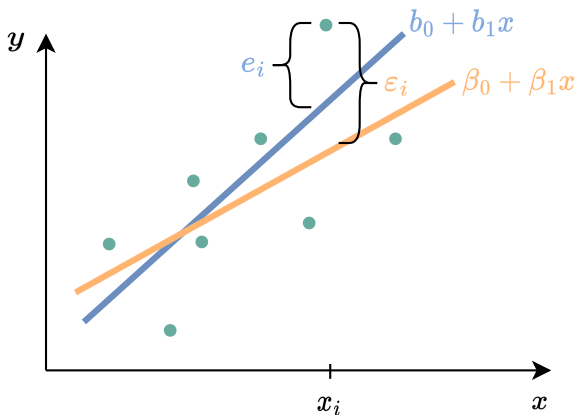
$$(y_1, x_1), \dots, (y_n, x_n)$$

- I regression antar vi att **x -variabeln inte är slumpmässig**.

Residualerna e_i skattar populationens ε_i

Residualer:

$$e_i = y_i - \hat{y}_i$$



Mer om detta på SDA2.

De fyra antaganden om populationen i regression

- 1 Sambandet mellan y och x är **linjärt**

$$E(Y|x) = \beta_0 + \beta_1 x$$

- 2 Feltermerna ε_i är **oberoende**

- 3 Feltermerna har **samma standardavvikelse** (homoskedastisk)

$$SD(\varepsilon_i) = \sigma_\varepsilon$$

- 4 Feltermerna är **normalfördelade**

$$\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n \overset{\text{ober}}{\sim} N(0, \sigma_\varepsilon)$$

Residualanalys för att undersöka de 4 antagandena

■ Residualer:

$$e_i = y_i - \hat{y}_i$$

1 Linjärt samband?

Plotta y_i mot x_i . Ser linjärt ut?

Plotta e_i mot x_i . Konstant, eller mönster kvar?

2 Oberoende ε ?

Plotta residualer e_i mot anpassade värden \hat{y}_i .

Tidsserier: plotta e_i mot tid (observationsnummer).

3 Homoskedastiska ε ?

Plotta residualer e_i mot x_i . Liknande spridning för alla x_i ?

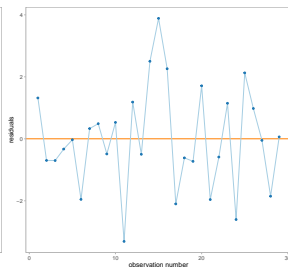
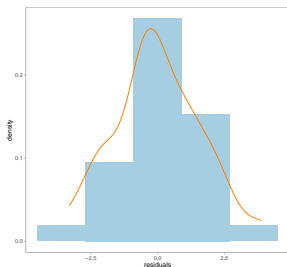
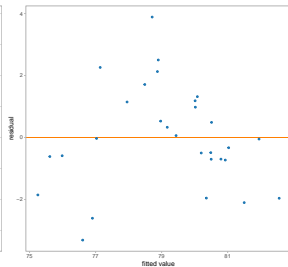
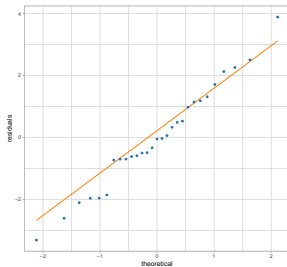
$$SD(\varepsilon_i) = \sigma_\varepsilon$$

4 Normalfördelade ε ?

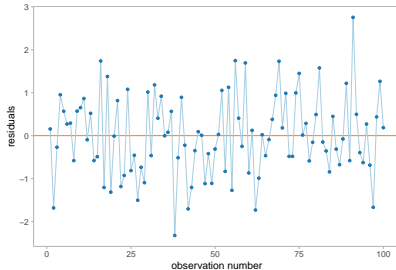
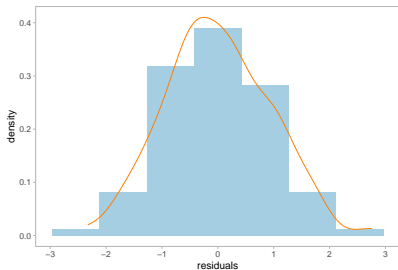
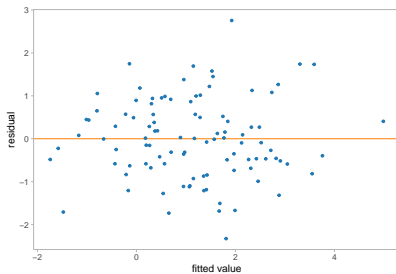
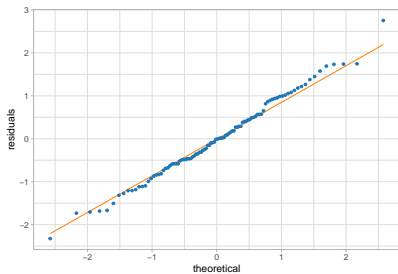
Histogram, boxplot, QQ-plot för residualer e_i .

Residualanalys lifespan - sda123-paketet

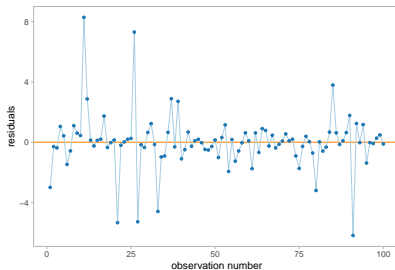
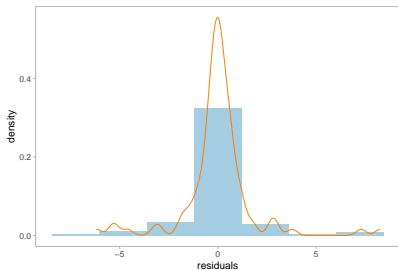
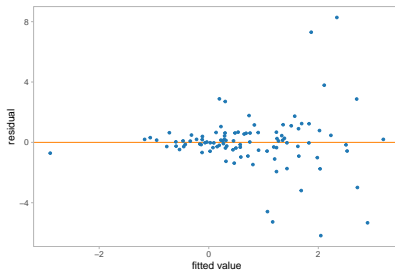
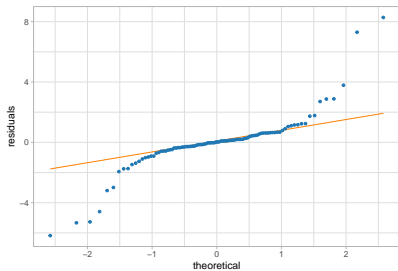
```
> model = lm(lifespan ~ spending, data = lifespan_no_usa)
> reg_residuals(model)
```



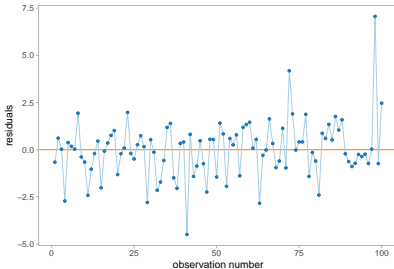
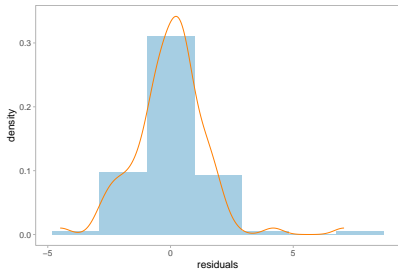
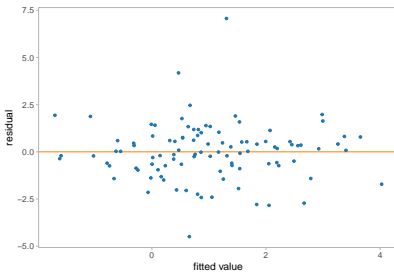
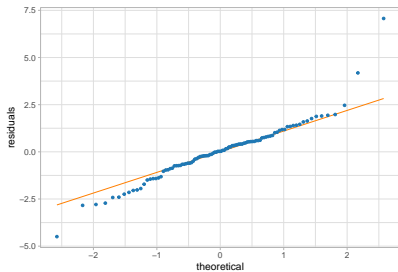
Residualer simulerade data - alla antaganden OK



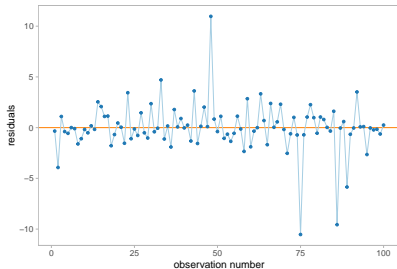
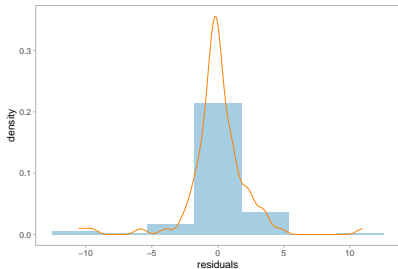
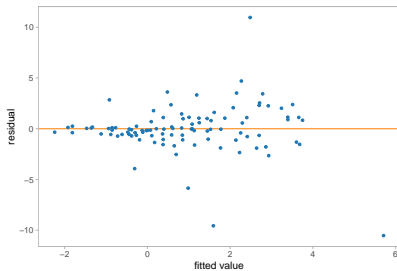
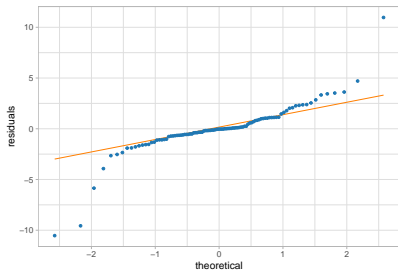
Trouble in paradise 1 - heteroscedastisk varians



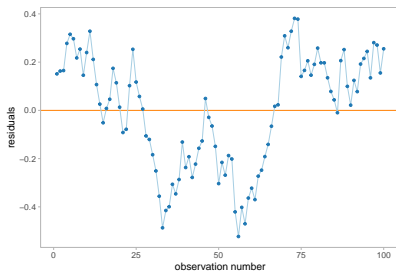
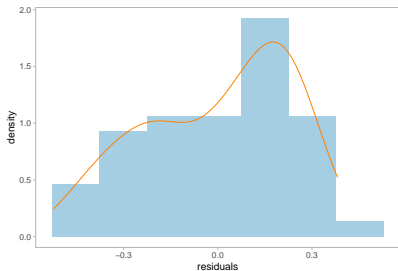
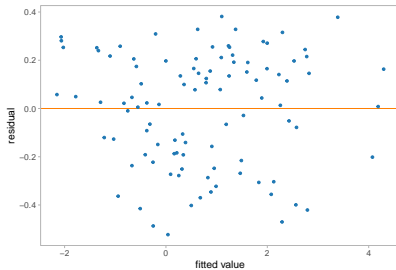
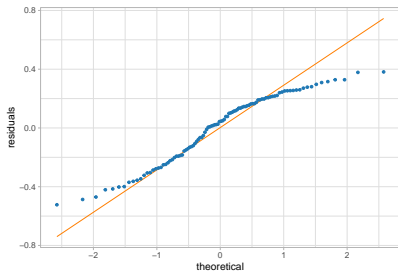
Trouble in paradise 2 - icke-normala ε (outliers)



Trouble in paradise 3 - icke-normala och hetero ε



Trouble in paradise 4 - ϵ_j oberoende ϵ



Minsta kvadrat-skattningar är väntevärdesriktiga

- Minsta kvadrat-estimatorerna:

$$b_1 = \frac{s_{xy}}{s_x^2}$$

$$b_0 = \bar{y} - b_1\bar{x}$$

$$s_e^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 2}$$

- Väntevärdesriktiga

$$E(b_0) = \beta_0$$

$$E(b_1) = \beta_1$$

$$E(s_e^2) = \sigma_\varepsilon^2$$

Standardfel för b_1

- Estimatorn för lutningskoefficienten

$$b_1 = \frac{s_{xy}}{s_x^2}$$

- Hur b_1 varierar mellan olika stickprov:

$$\sigma_{b_1} = SD(b_1) = \frac{\sigma_\varepsilon}{\sqrt{n-1}s_x}$$

- σ_{b_1} skattas med **standardfelet**

$$s_{b_1} = SE(b_1) = \frac{s_e}{\sqrt{n-1}s_x}$$

- Formel för $SE(b_0)$ slipper ni på SDA1. 😊
- lifespan data [`sd(spending) = 1.097516`]

$$s_{b_1} = \frac{1.678}{\sqrt{29-1} \cdot 1.097516} \approx 0.289$$

Standardfel för b_1 i R

```
> library(sda123)
> lifespan_no_usa = lifespan[1:29,] # remove the outlier USA
> model = lm(lifespan ~ spending, data = lifespan_no_usa)
> summary(model)
```

Call:

```
lm(formula = lifespan ~ spending, data = lifespan_no_usa)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-3.3108	-0.7016	-0.0507	1.1458	3.8860

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	74.1639	0.8782	84.45	< 2e-16 ***
spending	1.7629	0.2890	6.10	1.63e-06 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.678 on 27 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.5795, Adjusted R-squared: 0.5639

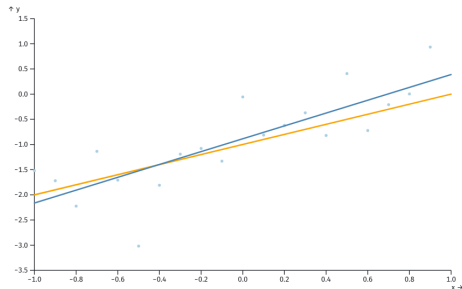
F-statistic: 37.21 on 1 and 27 DF, p-value: 1.626e-06

Samplingfördelning i regression - interaktivt



Skattat intercept: $b_0 = -0.8866$

Skattad lutning: $b_1 = 1.275$



Populationsmodell
Skattad regressionslinje

Dessa slides skapades för kursen statistik och dataanalys 1 av Mattias Villani HT 2023, och har modifierats av Oscar Oelrich VT 2024, och Oskar Gustafsson för VT 2025.