

# Statistik och Dataanalys I

## Föreläsning 12 - Osäkerhet och Sannolikhet

**Mattias Villani**



Statistiska institutionen  
Stockholms universitet



[mattiasvillani.com](https://mattiasvillani.com)



[@matvil](https://twitter.com/matvil)



[@matvil](https://medium.com/@matvil)



[mattiasvillani](https://github.com/mattiasvillani)

- Motivation
- Försök, Utfall och Händelser
- Sannolikheter
- Sannolikhetsberäkningar
- Kombinatorik

# “Inga fler tärningar och kulor i urnor!”















**Mattias Villani** @matvil · Nov 27, 2022

...




I promised myself that our new basic stats course would be something fresh. Yet, here I am rolling 'em dice again. Hard to beat this example for simple probability though.

[#drawio](#)

						
	2	3	4	5	6	7
	3	4	5	6	7	8
	4	5	6	7	8	9
	5	6	7	8	9	10
	6	7	8	9	10	11
	7	8	9	10	11	12

# Sannolikheter för dataanalys

## ■ Sannolikhetslära är intressant i sig:

- Sannolikheten för en kärnkraftsolycka 
- Sannolikheten att två personer har identiska DNA. 
- Sannolikheten att träffa den rätta på dejtingapp. 

## ■ Sannolikhetslära viktigt för dataanalys:

- **Statistiska modeller är sannolikhetsmodeller.**  
rBra modell av verkligheten: data sannolika enligt modellen.
- Kan **kvantifiera osäkerheten** i en **prediktion**.
- Kan **fatta optimala beslut i en osäker värld**.

7	→									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
				0.01				0.99		



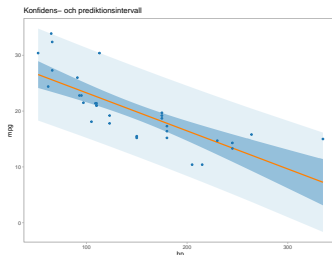
# Sannolikheter för regression

## ■ Hittills på kursen:

- skatta **regressionslinjen**:  $\hat{y} = b_0 + b_1x$
- **prediktion** för ny observation:  $\hat{y}_i = b_0 + b_1x_i$

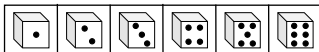
## ■ Med sannolikhetslära kan vi göra mycket mer:

- om  $b_1 \neq 0$ , finns det **verkligen korrelation** mellan  $x$  och  $y$ ?  
**Stickprov** vs **Population**.
- **osäkerhetsintervall för  $b_1$**  som troligen täcker sanna värdet.
- **osäkerhetsintervall för prediktionen  $\hat{y}_i$** .















# Försök, utfall och utfallsrum

- Vi utför ett **försök** (eng. trial): singlar ett mynt.
- Observerar ett **utfall** (eng. outcome): Krona.
- **Utfallsrummet** är **alla möjliga utfall** som kan inträffa.
- Singla slant  $S = \{\text{Krona}, \text{Klave}\}$ .
- Kasta en tärning:



- Kasta två tärningar:













						
	2	3	4	5	6	7
	3	4	5	6	7	8
	4	5	6	7	8	9
	5	6	7	8	9	10
	6	7	8	9	10	11
	7	8	9	10	11	12

- Napoli - Juventus:  $\{\text{N}, \text{J}, \text{Oavgjort}\}$ .
- Napoli - Juventus:  $\{\text{N}, \text{J}, \text{Oavgjort}, \text{Inställd match}\}$ .

# Händelse - exakt sju prickar med två tärningar

- En **händelse** är en **mängd av utfall**.
- Händelsen  $A =$  få exakt 7 prickar med två tärningar.













$$A = \{(1, 6), (2, 5), (3, 4), (4, 3), (5, 2), (6, 1)\}$$

						
	2	3	4	5	6	7
	3	4	5	6	7	8
	4	5	6	7	8	9
	5	6	7	8	9	10
	6	7	8	9	10	11
	7	8	9	10	11	12

# Händelse - samma antal prickar på båda tärningarna

- Händelsen  $A = \{\text{få samma antal prickar på båda tärningarna}\}$

$$A = \{(1, 1), (2, 2), (3, 3), (4, 4), (5, 5), (6, 6)\}$$

						
	2	3	4	5	6	7
	3	4	5	6	7	8
	4	5	6	7	8	9
	5	6	7	8	9	10
	6	7	8	9	10	11
	7	8	9	10	11	12



# Tre sannolikhetsbegrepp

- Vad är **sannolikheten** att få en 6:a med en tärning?

- Utfallsrum:  $S = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ .
- Händelse:  $A = \{6\}$ .
- Sannolikhet:  $P(A)$ . Måste uppfylla:  $0 \leq P(A) \leq 1$ .

- 1 **Lika sannolika utfall** (logisk sannolikhet).

En tärnings fysiska egenskaper  $\rightarrow$  alla sidor är lika sannolika.

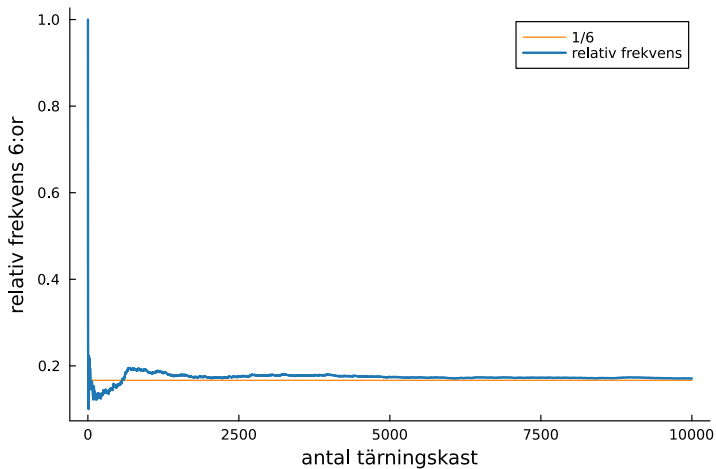
$$P(A) = \frac{\text{antal utfall i } A}{\text{totalt antal möjliga utfall}} = 1/6 \approx 0.1667$$

- 2 **Empirisk sannolikhet**: andelen 6:or om jag kastar tärningen ett "oändligt" antal gånger.

$$P(A) = \frac{\text{antal gånger som } A \text{ inträffar}}{\text{totalt antal försök}}$$

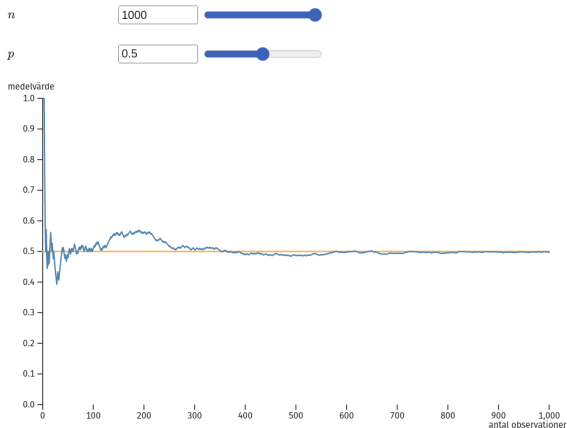
- 3 **Subjektiva sannolikheter**. **Min** tidigare erfarenhet av tärningskast och **min** uppfattning om en tärnings symmetri säger mig att **min** sannolikhet att få en 6:a är  $1/6 \approx 0.1667$ .

# Stora talens lag - få 6:a med tärning

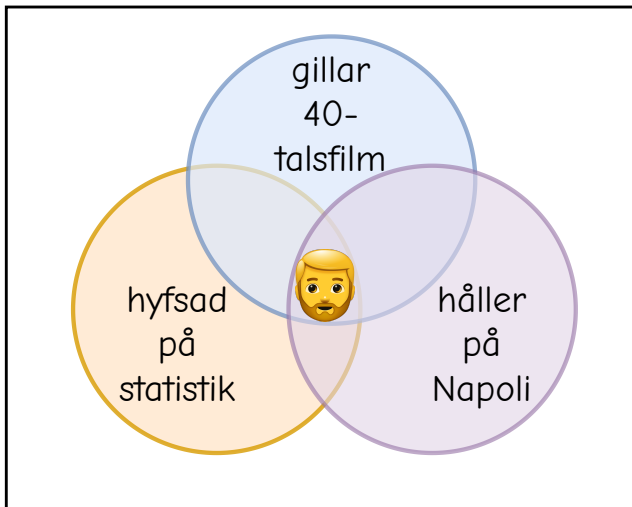


# Stora talens lag - slantsingling

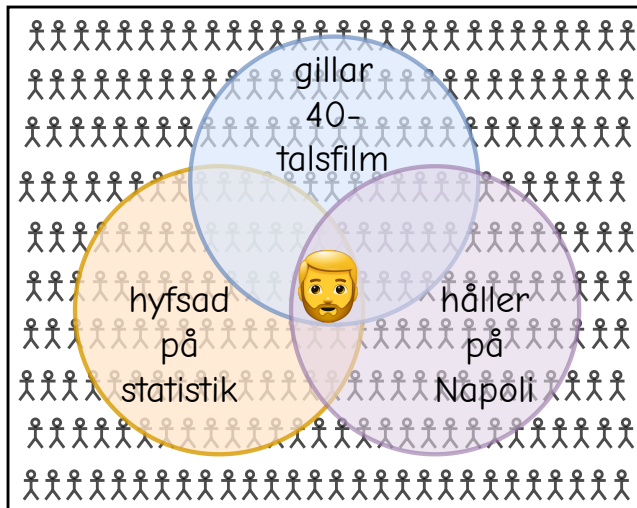
## Stora talens lag - slantsingling



# Venn diagram

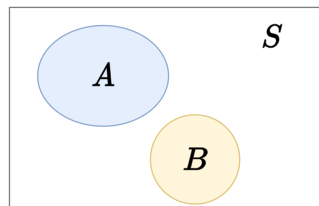
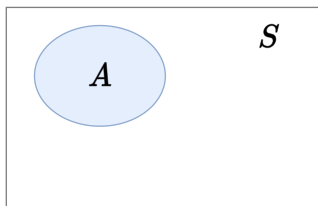


# Venn diagram



























# Händelse - Venn diagram













- Praktiskt att visualisera händelser i ett **Venn diagram**.
- **Utfallsrummet** (allt som kan inträffa) visas med **rektangel**.
- **Händelser** ritas som **cirklar**, **ellipser** eller **rektanglar**.




# Venn diagram - summa sju prickar och samma

						
	2	3	4	5	6	7
	3	4	5	6	7	8
	4	5	6	7	8	9
	5	6	7	8	9	10
	6	7	8	9	10	11
	7	8	9	10	11	12


						
	2	3	4	5	6	7
	3	4	5	6	7	8
	4	5	6	7	8	9
	5	6	7	8	9	10
	6	7	8	9	10	11
	7	8	9	10	11	12

						
	2	3	4	5	6	7
	3	4	5	6	7	8
	4	5	6	7	8	9
	5	6	7	8	9	10
	6	7	8	9	10	11
	7	8	9	10	11	12


# Venn diagram - summa tio prickar och samma




	2	3	4	5	6	7
	3	4	5	6	7	8
	4	5	6	7	8	9
	5	6	7	8	9	10
	6	7	8	9	10	11
	7	8	9	10	11	12



	2	3	4	5	6	7
	3	4	5	6	7	8
	4	5	6	7	8	9
	5	6	7	8	9	10
	6	7	8	9	10	11
	7	8	9	10	11	12



	2	3	4	5	6	7
	3	4	5	6	7	8
	4	5	6	7	8	9
	5	6	7	8	9	10
	6	7	8	9	10	11
	7	8	9	10	11	12

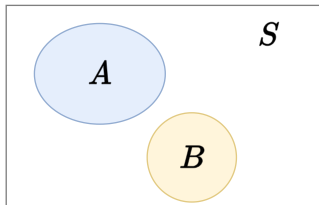


	2	3	4	5	6	7
	3	4	5	6	7	8
	4	5	6	7	8	9
	5	6	7	8	9	10
	6	7	8	9	10	11
	7	8	9	10	11	12

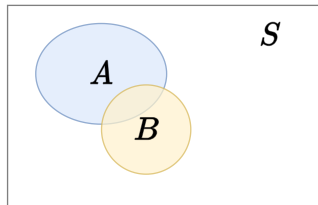


# Disjunkta händelser

**Disjunkta** händelser  
inga gemensamma element

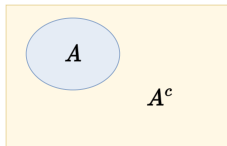


**Överlappande** händelser  
med gemensamma element



# Komplementshändelsen

- **Komplementet** till  $A$  inträffar när  **$A$  inte inträffar**.
- Vi skriver  $A^c$  där  $c$  står för engelskans **C**omplement.



## ■ Tärningar

- $A = \{\text{udda antal prickar på tärning}\} = \{1,3,5\}$ .
- $A^c = \{\text{jämnt antal prickar på tärning}\} = \{2,4,6\}$ .



## ■ Inflation

- $A = \{\text{inflationen nästa månad} \leq 2\}$ .
- $A^c = \{\text{inflationen nästa månad} > 2\}$ .



## ■ Mjukvarubuggar

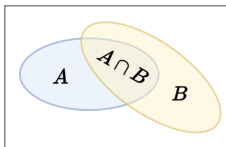
- $A = \{\text{ingen bugg i programvaran}\}$ .
- $A^c = \{\text{åtminstone en bugg}\} = \{1 \text{ bugg}, 2 \text{ buggar}, \dots\}$



# Snitthändelsen

- **Snitthändelsen** är händelsen där **både A och B** inträffar.
- Vi skriver **A och B** eller  **$A \cap B$** .

🇺🇸 Snitt = **Intersection**

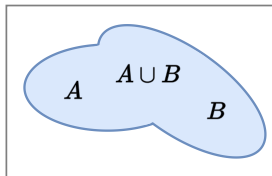


- Två tärningar:
  - $A = \{\text{ samma prickar på båda tärningar}\}$
  - $B = \{\text{ totalt 10 prickar}\}$
  - $A \cap B = \{\text{ 5:a på båda tärningar}\}$
- Lågkonjunktur 🤔
  - $A = \{\text{BNP-tillväxt kvartal 1} < 0\}$
  - $B = \{\text{BNP-tillväxt kvartal 2} < 0\}$
  - $A \cap B = \{\text{Negativ BNP-tillväxt två kvartal i rad}\}$
- Disjunkta händelsers snitt är den **tomma mängden**  $\emptyset$

$$A \text{ och } B \text{ disjunkta} \iff A \cap B = \emptyset$$

# Unionhändelsen

- **Unionhändelsen** är händelsen där **A och/eller B** inträffar.
- **Minst en** av händelserna inträffar.



- Universitetstudier 🎓
  - $A = \{\text{Kommer in på kurs på betyg}\}$
  - $B = \{\text{Kommer in på kurs på högskoleprov}\}$
  - $A \cup B = \{\text{Kommer in på kurs}\}$

# Formell sannolikhet

**Sannolikheten**  $P(A)$  för händelse  $A$  på utfallsrummet  $S$

- 1  $0 \leq P(A) \leq 1$
- 2  $P(S) = 1$
- 3  $P(A^c) = 1 - P(A)$
- 4  $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$  om  $A$  och  $B$  är **disjunkta**
- 5  $P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B)$  om  $A$  och  $B$  är **oberoende**

- 1 En sannolikhet är ett tal mellan 0 och 1.
- 2 Sannolikheten för en **säker händelse** är 1.
- 3 Sannolikheten att en händelse **inte** inträffar är 1 minus sannolikheten för händelsen.
- 4 Sannolikheten att **åtminstone en** av två händelser som **inte kan inträffa samtidigt** är summan av händelsernas sannolikheter.
- 5 Sannolikheten att två oberoende händelser **båda** inträffar är produkten av händelsernas sannolikheter.

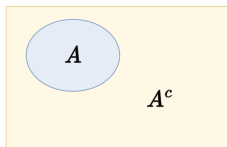
# Komplementsregeln

- $A$  och  $A^c$  är **disjunkta**. Kan inte inträffa samtidigt.
- Någon av  $A$  eller  $A^c$  *måste* inträffa.

$$P(A) + P(A^c) = 1$$

## Komplementsregeln

$$P(A^c) = 1 - P(A)$$



- $A = \{\text{ingen bugg i koden}\}$ .
- $A^c = \{\text{åtminstone en bugg i koden}\} = \{1 \text{ bugg}, 2 \text{ buggar}, \dots\}$
- $P(\{\text{åtminstone en bugg i koden}\}) = 1 - P(\{\text{ingen bugg i koden}\})$ .

# Den allmänna additionsregeln

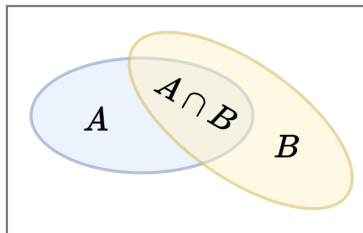
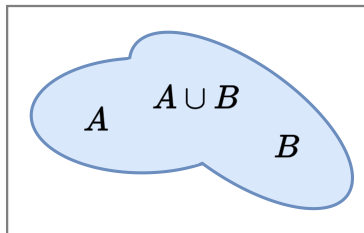
- **Additionsregeln:** Om  $A$  och  $B$  är **disjunkta**:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B)$$

**Allmänna additionsregeln** (även överlappande händelser)

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$

- Måste dra bort snittet  $A \cap B$  för det räknas två ggr.



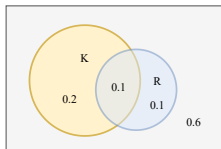
# Röst på socialdemokraterna 🌹 additionsregeln

- $\mathbf{R}$  = person röstar 🌹 i riksdagsvalet.  $P(\mathbf{R}) = 0.2$
- $\mathbf{K}$  = person röstar 🌹 i kommunalvalet.  $P(\mathbf{K}) = 0.3$
- Personen röstar på 🌹 in båda valen:  $P(\mathbf{R} \cap \mathbf{K}) = 0.1$
- Röstar 🌹 i åtminstone ett av valen? Additionsregeln:

$$P(\mathbf{R} \cup \mathbf{K}) = 0.2 + 0.3 - 0.1 = 0.4$$

- Röstar inte på 🌹 i något av valen?

$$P(\mathbf{R}^c \cap \mathbf{K}^c) = P((\mathbf{R} \cup \mathbf{K})^c) = 1 - P(\mathbf{R} \cup \mathbf{K}) = 1 - 0.4 = 0.6$$





# Multiplikationsregeln för oberoende händelser

- Händelserna  $A$  och  $B$  är **oberoende** om vetskapen att  $B$  har inträffat **inte påverkar** sannolikheten för  $A$ . Och vice versa.
- Test: kommer sannolikheten för  $A$  förändras om man får veta att  $B$  har inträffat? Om inte, så är  $A$  och  $B$  oberoende.

**Multiplikationsregeln.** För **oberoende** händelser  $A$  och  $B$

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B)$$

- Hur beräknar man sannolikheten för snittet  $A \cap B$  för händelser som **inte** är oberoende? Stay tuned, kommer i F12. 🤔

# Multiplikationsregeln för oberoende händelser

- Vad är sannolikheten att få 2 st krona i rad vid slantsingling?

$$0.5 \cdot 0.5 = 0.5^2 = 0.25$$

- Vad är sannolikheten att få 5 st krona i rad vid slantsingling?

$$0.5 \cdot 0.5 \cdot 0.5 \cdot 0.5 \cdot 0.5 = 0.5^5 = 0.03125$$

- 1% risk att streaming laggar under en kväll. Oberoende kvällar.

$$P(\text{ingen lagg hela veckan}) = (1 - 0.01)^7 = 0.99^7 \approx 0.932.$$

- Sannolikheten att dra två klöver ♣ ur en blandad kortlek?

$$P(1:a \text{ kortet klöver}) = \frac{13}{52} = \frac{1}{4}$$

$$P(2:a \text{ kortet klöver} \textbf{ givet } 1:a \text{ kortet klöver}) = \frac{12}{51}$$

$$P(2:a \text{ kortet klöver} \textbf{ givet } 1:a \text{ kortet} \textbf{ inte } \text{ klöver}) = \frac{13}{51}$$

- $A = \{\clubsuit \text{ på } 1:a\}$  och  $B = \{\clubsuit \text{ på } 2:a\}$  är **inte** oberoende.

# Röst på socialdemokraterna 🌹 multiplikationsregeln

- $\mathbf{R}$  = person röstar 🌹 i riksdagsvalet.  $P(\mathbf{R}) = 0.2$
- $\mathbf{K}$  = person röstar 🌹 i kommunalvalet.  $P(\mathbf{K}) = 0.3$
- Personen röstar på 🌹 in båda valen:  $P(\mathbf{R} \cap \mathbf{K}) = 0.1$
- Är händelserna  $\mathbf{R}$  och  $\mathbf{K}$  **oberoende**? Vi måste undersöka om

$$P(\mathbf{R} \cap \mathbf{K}) = P(\mathbf{R}) \cdot P(\mathbf{K})$$

- Händelserna är **inte** oberoende:

$$P(\mathbf{R}) \cdot P(\mathbf{K}) = 0.2 \cdot 0.3 \neq 0.1 = P(\mathbf{R} \cap \mathbf{K})$$

- Att hen röstat på 🌹 i kommunalvalet ger information om vad hen röstat på i riksdagsvalet.
- **Betingad sannolikhet** för  $\mathbf{R}$  **givet**  $\mathbf{K}$  är sann: 0.333 (se F13).
- $P(\mathbf{R})$  ökar från 0.2 till 0.333 när vi vet att  $\mathbf{K}$  är sann.

# Kombinatorik

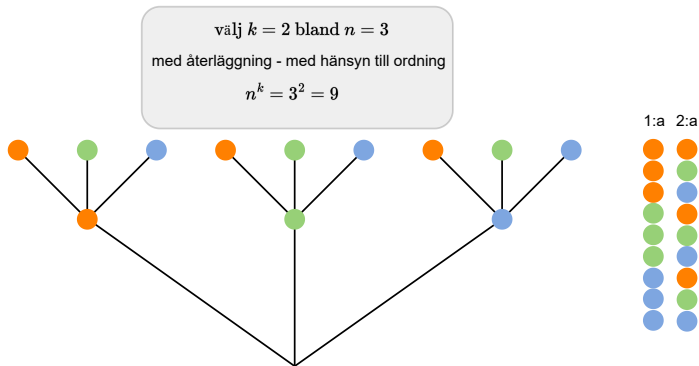
- Dataset 1: **med ordning**: Krona, Klave, Klave, Krona, Krona.
- Dataset 2: **utan ordning**: 3 st Krona och 2 st Klave.
- Är det lika sannolikt att observera Dataset 1 som Dataset 2?
- **Kombinatorik**: räknar antal sätt/kombinationer.
- **Fakultetet** (eng. factorial). Utläses som n-fakultet.

$$n! = n(n-1)(n-2) \cdots 2 \cdot 1$$

Hur många sätt att välja  $k$  element bland  $n$  element?

	med återläggning	utan återläggning
med ordning	$n^k$	${}_nP_k = \frac{n!}{(n-k)!}$
utan ordning	ej på kurs	${}_nC_k = \frac{n!}{(n-k)!k!}$

# Med återläggning, med hänsyn till ordning

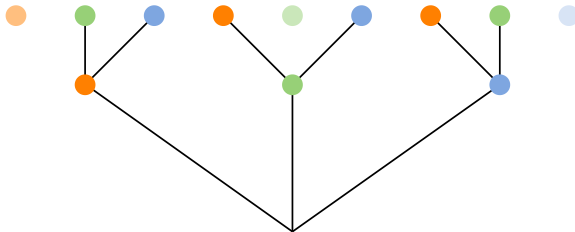


# Utan återläggning, med hänsyn till ordning

välj  $k = 2$  bland  $n = 3$

utan återläggning - med hänsyn till ordning

$${}_nP_k = \frac{n!}{(n-k)!} = \frac{3!}{1!} = \frac{3 \cdot 2 \cdot 1}{1} = 6$$



# Utan återläggning, utan hänsyn till ordning

