



# JOHDATUS TEKOÄLYYN

TEEMU ROOS



HELSINGIN YLIOPISTO



# LOGICOMIX



EINE EPISCHE SUCHE NACH WAHRHEIT

APOSTOLOS DOXIADIS UND CHRISTOS H. PAPADIMITRIOU

GRAFIK VON ALECOS PAPADATOS UND ANNIE DI DONNA

ÜBERSETZUNG VON EBI NAUMANN

ATRIUM

# LOGIIKKA

---

\*  $LINTU(A) \Rightarrow LENTÄÄ(A)$   
 $PINGVIINI(A) \Rightarrow LINTU(A)$   
 $PINGVIINI(tweety)$   
 $LENTÄÄ(tweety)$

\*  $ISÄ(X,Y) \Rightarrow LAPSI(Y,X)$   
 $ÄITI(X,Y) \Rightarrow LAPSI(Y,X)$   
 $ISÄ(X,Y) \wedge ISÄ(Y,Z) \Rightarrow LAPSENLAPSI(Z,X) \wedge ISOISÄ(X,Z)$

$LAPSI(luke skywalker, darth vader)$   
 $\neg ÄITI(darth vader, luke skywalker)$   
 $ISÄ(darth vader, luke skywalker) ???$

EI SEURAA!!!



# LOGIIKKA

---

\*  $LINTU(A) \Rightarrow LENTÄÄ(A)$   
 $PINGVIINI(A) \Rightarrow LINTU(A)$   
 $PINGVIINI(tweety)$ .  
 $LENTÄÄ(tweety)$

\*  $ISÄ(X,Y) \vee ÄITI(X,Y) \Leftrightarrow LAPSI(Y,X)$

$ISÄ(X,Y) \wedge ISÄ(Y,Z) \Rightarrow LAPSENLAPSI(Z,X) \wedge ISOISÄ(X,Z)$

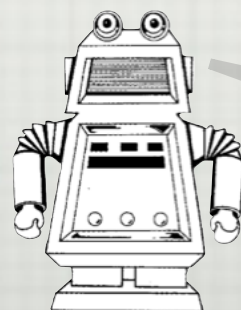
$LAPSI(luke skywalker, darth vader)$   
 $\neg ÄITI(darth vader, luke skywalker)$ .  
 $ISÄ(darth vader, luke skywalker)$



# LOGIIKKAOHJELMOINTI: PROLOG

---

- \* LOGIIKKA ILMAN PÄÄTTELYKONEISTOA EI RIITÄ TEKOÄLYYN
- \* 1970-LUVUN ALUSSA: PROLOG
- \* PROLOG:
  - DEKLARATIIVINEN OHJELMOINTIKIELI
  - OHJELMA = JOUKKO RELAATIOITA (PREDIKAATTEJA) JA SÄÄNTÖJÄ
  - SUORITUS ALKAA KYSELYSTÄ:  
"ONKO PRED(A) TODISTETTAVISSA?"



"TODISTETTAVISSA"  
ON ERI ASIA KUIN "TOTTA"!



# GÖDEL: EPÄTÄYDELLISYYS

---

✱ LAUSE  $p$  VOI OLLA:

1. RISTIRIITAINEN ELI AINA EPÄTOSI:  $q \wedge \neg q$

2. TAUTOLOGINEN ELI AINA TOSI:  $q \vee \neg q$

3. KONTINGENTTI: ISÄ (darth vader, luke skywalker)

✱ HUOM: LAUSEEN TÄYTYY OLLA TÄSMÄLLISESTI MUOTOILTU; ESIM. KAUNIS (sää) EI OIKEASTAAN OLE.

✱ EI-KONTINGETTI LAUSE  $p$  VOI OLLA:

1. TODISTETTAVISSA EPÄTODEKSI

2. TODISTETTAVISSA TODEKSI

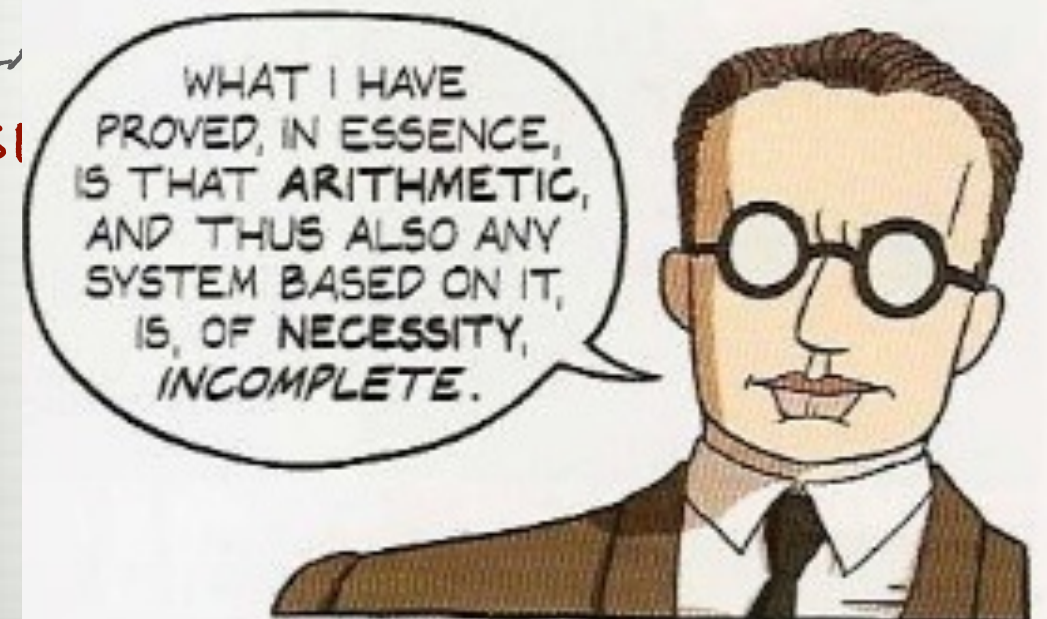
3. RATKEAMATON

# GÖDEL: EPÄTÄYDELLISYYS

- \* LAUSE  $p$  VOI OLLA:
  1. RISTIRIITAINEN ELI AINA EPÄTO
  2. TAUTOLOGINEN ELI AINA TOSI:
  3. KONTINGENTTI: ISÄ

- \* HUOM: LAUSEEN TÄYTYY OLLA T,  
MUOTOILTU; ESIM. KAUUNIS(sää) E

- \* EI-KONTINGETTI LAUSE  $p$  VOI OLLA
  1. TODISTETTAVISSA EPÄTODEKSI
  2. TODISTETTAVISSA TODEKSI
  3. RATKEAMATON



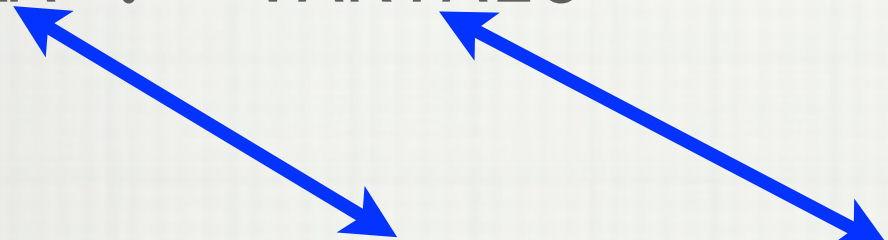


# LOGIIKKAOHJELMOINTI: PROLOG

---

PÄÄ :- VARTALO

JOHTOPÄÄTÖS  $\Leftarrow$  LAUSE





# LOGIIKKAOHJELMOINTI: PROLOG

---

PÄÄ :- VARTALO

kissa(felix) :- true.

?- kissa(felix).

KYSELY



# LOGIikkaOHJELMOINTI: PROLOG

---

PÄÄ :- VARTALO

kissa(felix) :- true.

?- kissa(felix).

yes

?- kissa(X).

X = felix

yes



# LOGIIKKAOHJELMOINTI: PROLOG

---

PÄÄ :- VARTALO

kissa(felix) :- true.  
eläin(X) :- kissa(X).

?- eläin(X).

X = felix  
yes

# LOGIIKKAOHJELMOINTI: PROLOG

---

PÄÄ :- VARTALO

isäpuoli(X,Y):-äiti(Z,Y),mies(X,Z)

$\wedge$  "JA"





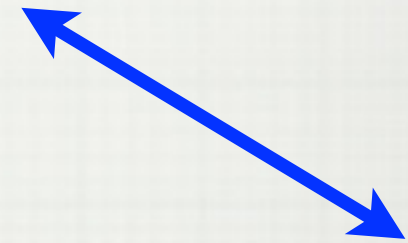
# LOGIIKKAOHJELMOINTI: PROLOG

---

PÄÄ :- VARTALO

isäpuoli(X,Y):-äiti(Z,Y),mies(X,Z),\+isä(X,Y).

$\neg$  "EI"



# LOGIIKKAOHJELMOINTI: PROLOG

---

PÄÄ :- VARTALO

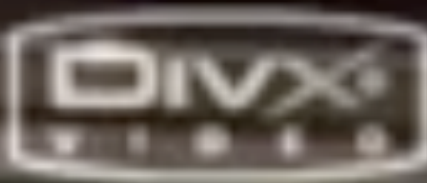
isäpuoli(X,Y):-äiti(Z,Y),mies(X,Z),\+isä(X,Y).

äitipuoli(X,Y):-isä(Z,Y),vaimo(X,Z),\+äiti(X,Y).

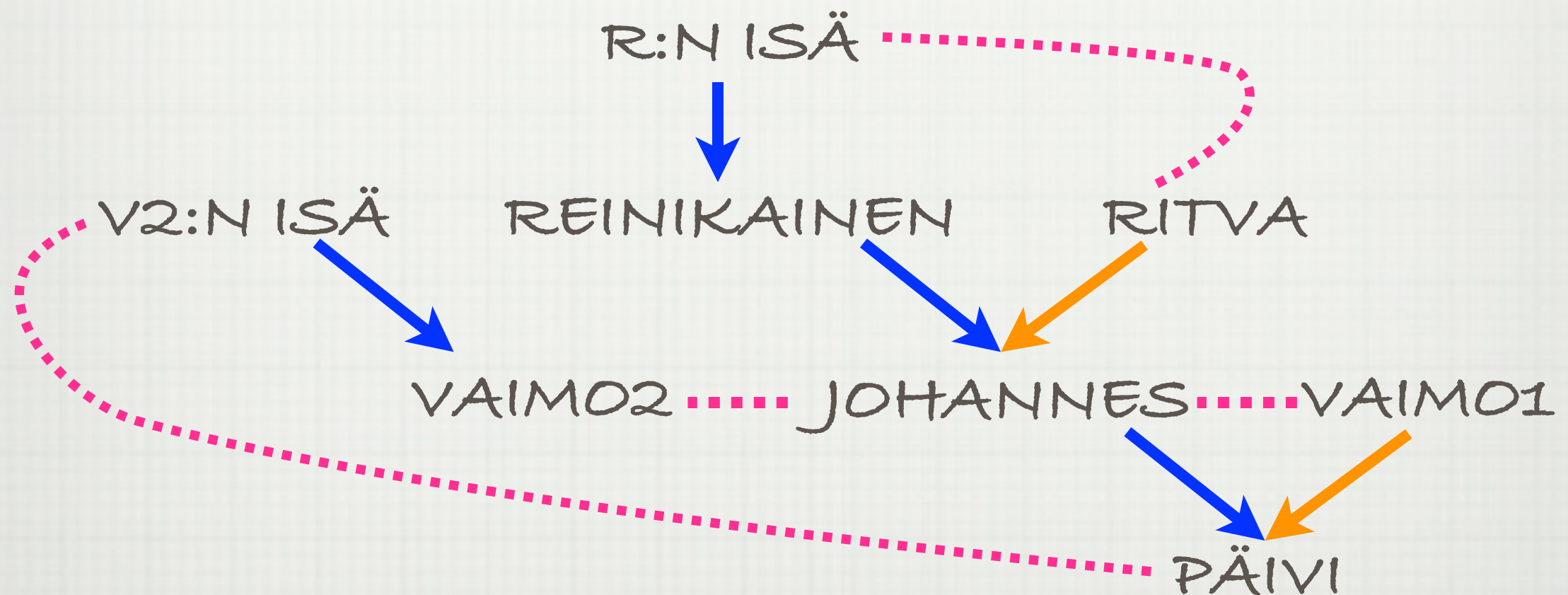




2:20



# REINIKAISEN SUKUPUU



1. "...POIKANI ON NY SITTE MUN ISÄPUOLENI..."

2. "...ÄITIPUOLENSA ÄITIPUOLI..."



# REINIKAISEN SUKUPUU

---

```
isa(reinikainen,johannes).
isa(reinikaisenisa,reinikainen).
isa(johannes,paivi).
isa(toisenvaimonisa,vaimoII).
aiti(reinikaisenaiti,reinikainen).
aiti(ritva,johannes).
aiti(vaimoI,paivi).
vaimo(ritva,reinikaisenisa)
vaimo(paivi,toisenvaimonisa).
vaimo(vaimoI,johannes).
vaimo(vaimoII,johannes).
mies(reinikaisenisa,ritva).
mies(johannes,vaimoI).
mies(johannes,vaimoII).
mies(toisenvaimonisa,paivi).
isapuoli(X,Y):-aiti(Z,Y),mies(X,Z),\+isa(X,Y).
aitipuoli(X,Y):-isa(Z,Y),vaimo(X,Z),\+aiti(X,Y).
```

# REINIKAISEN SUKUPUU

---

GNU Prolog 1.3.0

By Daniel Diaz

Copyright (C) 1999-2007 Daniel Diaz

| ?- `consult('reinikainen')`.

compiling /fs-0/3/ttonteri/reinikainen.pl for byte code...  
/fs-0/3/ttonteri/reinikainen.pl compiled, 19 lines read -  
3066 bytes written, 26 ms

(10 ms) yes

| ?- `isapuoli(X,Y)`.

X = reinikaisenisa

Y = johannes



# REINIKAISEN SUKUPUU

---

GNU Prolog 1.3.0

By Daniel Diaz

Copyright (C) 1999-2007 Daniel Diaz

```
| ?- consult('reinikainen').
```

```
compiling /fs-0/3/ttonteri/reinikainen.pl for byte code...  
/fs-0/3/ttonteri/reinikainen.pl compiled, 19 lines read -  
3066 bytes written, 26 ms
```

1. ~~"...POIKANI ON NY SITTE MUN ISAPUOLENI..."~~

```
| ?- isapuoli(X,Y).
```

X = reinikaisenisa

Y = johannes

# REINIKAISEN SUKUPUU

---

GNU Prolog 1.3.0

By Daniel Diaz

Copyright (C) 1999-2007 Daniel Diaz

| ?- `aitipuoli(X,Y).`

X = ritva

Y = reinikainen

X = vaimoII

Y = paivi

X = paivi

Y = vaimoII

2. "...ÄITIPUOLENSA ÄITIPUOLI..."



YouTube<sup>FI</sup>

Upload

GUIDE



## The Computer Chronicles - Artificial Intelligence (1984)



ComputerChroniclesYT · 432 videos

Subscribe

1,027

59 views

2 likes, 0 dislikes



Like



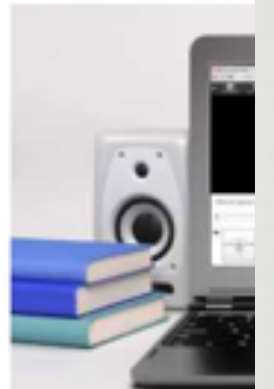
About

Share

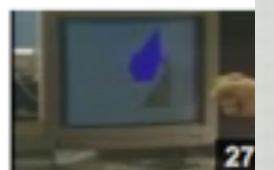
Add to



Download



## Osta Chrome

Kannettava ilman  
Hinta alkaen 349€  
by GoogleFinland

# 1984



- ☐ 2:40 PROF. EDWARD FEIGENBAUM:
  - ☐ "THE COMPUTERS, AS YOU KNOW, AS ARE GENERAL **SYMBOL** PROCESSING DEVICES CAPABLE OF MANIPULATING ANY TYPE OF **SYMBOLS**..."
  - ☐ "WE'VE KNOWN ABOUT THE GENERALITY OF COMPUTATION SINCE AT LEAST THE TIME OF **TURING**, ..., BABBAGE, ..., LOVELACE, ..., 1842..."
  - ☐ "IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A SCIENCE WE TALK ABOUT THE USE OF COMPUTERS TO PROCESS **SYMBOLIC** KNOWLEDGE..."
  - ☐ "...**INFERENCE AND NOT CALCULATION**..."
  - ☐ "...**KNOWLEDGE AND NOT NUMBERS**..."



# 1984

---



- 7:27 DR JEFFREY PERRONE:
  - "ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND IN PARTICULAR **EXPERT SYSTEMS**, [...], ARE APPLICABLE IN ANY PLACE WHERE SPECIALIZED KNOWLEDGE IS USED ROUTINELY TO REACH DECISIONS..."

# 1984

---



□ 21:10 DR NILS NILSSON

□ "WE'LL CONTINUE TO DEVELOP SYSTEMS THAT ARE **LESS BRITTLE** OVER THE **NEXT 5, 10, 15 YEARS...**"

□ "IT HAS TO DO WITH BEING ABLE TO REASON ABOUT THE **CONTEXT** IN WHICH A PARTICULAR DISCUSSION [...] IS TAKING PLACE"

□ "IF IT HAS TO HAVE WHAT YOU MIGHT CALL COMMON-SENSE KNOWLEDGE [...], THEN IT HAS A GOOD DEAL MORE **DIFFICULTY** AND IN FACT IT **FAILS** IN MANY OF THOSE CASES"



# CYC

---

- \* RAKENNETTU VUODESTA 1984 ALKAEN DOUG LENAT'N JOHDOLLA.
- \* TAVOITE "COMMON SENSE"
- \* SOVELLETTU ERITYISALOILLA:
  - TERRORISMITIETOKANTA
  - BIOLÄÄKETIETEELLINEN KYSELYJÄRJESTELMÄ

# CYC

---

(#\$isa #\$BillClinton #\$UnitedStatesPresident)

"BILL CLINTON KUULUU KOKOELMAAN YHDYSVALTAI  
PRESIDENTIT"

(#\$genls #\$Tree-ThePlant #\$Plant)

"KAIKKI PUUT OVAT KASVEJA".

(#\$capitalCity #\$France #\$Paris)

"PARIISI ON RANSKAN PÄÄKAUPUNKI."



# CYC

---

```
(#$implies  
  ($and  
    ($isa ?OBJ ?SUBSET)  
    ($genls ?SUBSET ?SUPERSET))  
  ($isa ?OBJ ?SUPERSET))
```

"JOS OBJ KUULUU KOKOELMAAN SUBSET JA SUBSET ON KOKOELMAN SUPERSET OSAJOUKKO, NIIN OBJ KUULUU KOKOELMAAN SUPERSET."

# CYC

---

(#\$relationAllExists #\$biologicalMother #\$ChordataPhylum  
#\$FemaleAnimal)

"JOKAISILLA SELKÄJÄNTEISELLÄ ON ÄITI."



# MUTTA...

- \* 1980 LUVULLE ASTI LOGIIKKA PIDETTIIN KESKEISIMPÄNÄ VÄLINEENÄ TEKOÄLYSSÄ
- \* PIENET, RAJATUT "LELUONGELMAT" RATKESIVAT KYLLÄ...
- \* ...MUTTA ONGELMIKSI MUODOSTUIVAT:
  - SKAALAUTUVUUS (ETSINTÄAVARUUS)
  - RELEVANTIN TIEDON LÖYTÄMINEN
  - EPÄVARMAN TIEDON KÄSITTELY

**Doug Lenat, 1998:**  
**"How to Build HAL Today in  
Three Easy Steps"**

# MUTTA...

- \* 1980 LUVULLE ASTI LOGIIKKA PIDETTIIN KESKEISIMPÄNÄ VÄLINEENÄ TEKOÄLYSSÄ
- \* PIENET, RAJATUT "LELUONGELMAT" RATKESIVAT KYLLÄ...

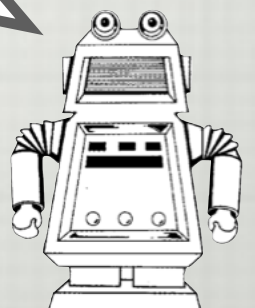
- \* ...MUTTA ONGELMIKSI

- SKAALAUTUVUUS
- RELEVANTIN TI
- EPÄVARMAN TI

LOGIIKALLA  
EDELLEEN SOVELLUKSIA:  
- OHJELMIEN VALIDOINNISSA  
- MATEMATIIKASSA (TODISTUS)  
- SEMANTTINEN WEB  
- **KONEOPPIMISESSÄ!**

- \* TUTKIMUSRAHOITUS

- \* TILALLE "KONNEKTIONISMI"  
JA "MODERNI AI".





# AIHEITA

---

✓ 1. MITÄ ON TEKOÄLY? HISTORIA JA FILOSOFIA

✓ 2. PELITJA ETSINTÄ

"GOFAI"

✓ 3. ~~LOGIIKKA(-OHJELMOINTI)~~

4. KONEOPPIMINEN JA

PÄÄTTELY EPÄVARMUUDEN VALLITESSA

"MODERN AI"

5. ROBOTIIKKA JA SIGNAALINKÄSITTELY

...

# MODERNI AI

---

OIKEASSA MAAILMASSA OTETTAVA HUOMIOON:

- \* HAVAINTOJEN EPÄTARKKUUS
- \* EPÄVARMUUS JA EPÄTÄSMÄLLISYYS
- \* RISTIRIITAINEN INFORMAATIO
- \* TOSIAIKAISUUS
- \* JNE.



# TODENNÄKÖISYYS (TN)

---

- \* TODENNÄKÖISYYKSIEN AVULLA VOIDAAN MALLINTAA TILANTEITA, JOIHIN LIITTYY EPÄVARMUUTTA
- \* AINA EI TARVITSE OLLA KYSE "FYSIKAALISESTA" SATUNNAISUUDESTA:  
 $P(\text{"SÖIN EILEN PIZZAA"})?$
- \* RIIPPUU TAUSTATIEDOISTA ("SUBJEKTIIVINEN" TN)
- \* TEKOÄLYSOVELLUKSISSA VAIKEIN OSUUS ON SOPIVAN TN-MALLIN RAKENTAMINEN:  $MISTÄ P(.)?$

# TODENNÄKÖISYYS (TN)

---

PERUSKÄSITTEITÄ:

\*  $\omega \in \Omega$

ALKEISTAPAHTUMAT  
(MAHDOLLISET MAAILMAT)



# TODENNÄKÖISYYS (TN)

---

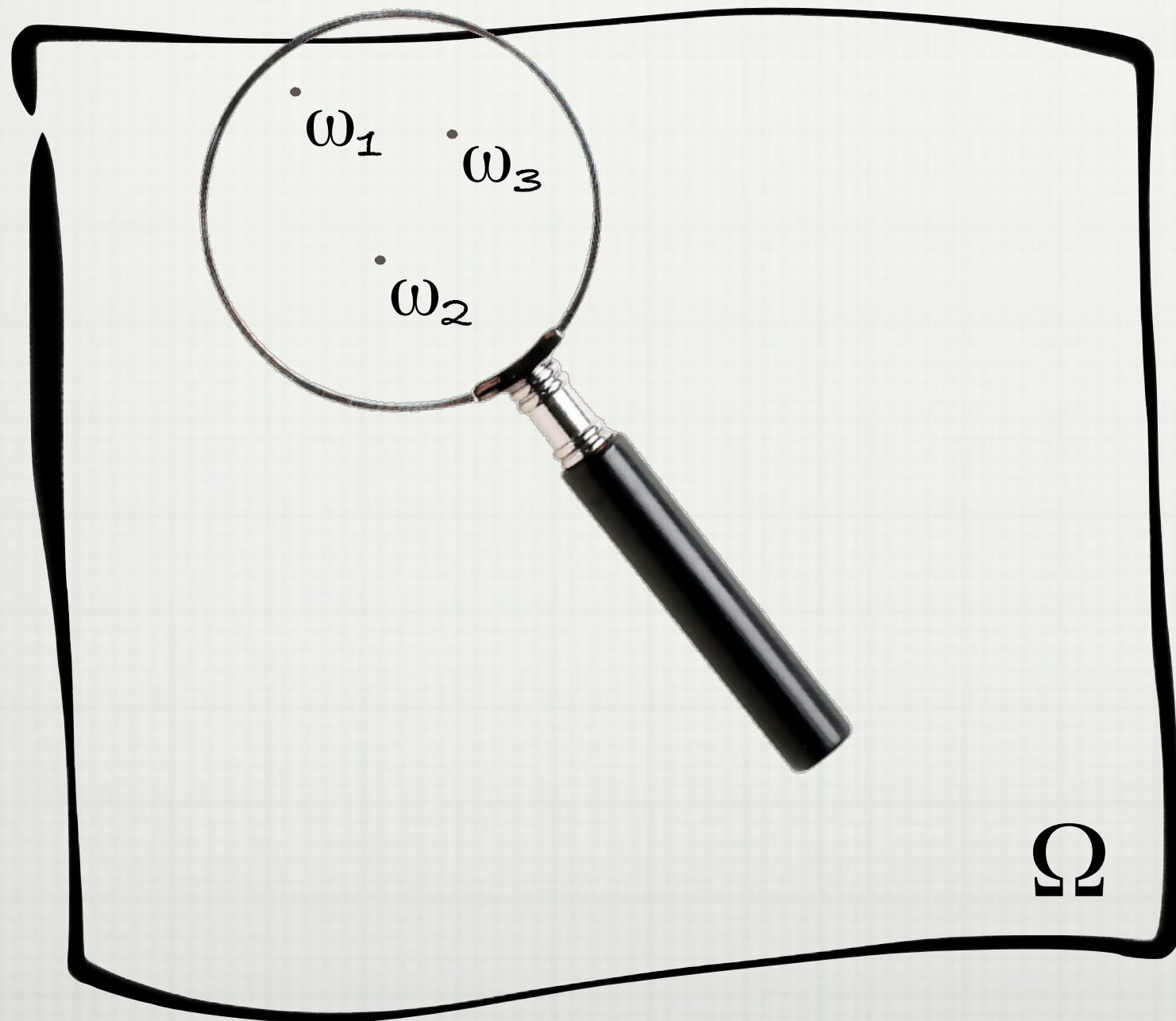
PERUSKÄSITTEITÄ:

- \*  $\omega \in \Omega$  ALKEISTAPAHTUMAT  
(MAHDOLLISET MAAILMAT)
- \*  $A, B, C, \dots \subseteq \Omega$  TAPAHTUMAT, "SÖIN EILEN PIZZAA"  
(OSAJOUKKOJA MAHD. MAAILMOISTA)
- \*  $P(\omega_1), P(\omega_2), \dots \in [0,1]$  TODENNÄKÖISYYSMALLI  
 $\sum_{\omega \in \Omega} P(\omega) = 1$  MAHD. MAAILMOJEN TN:T

$$\omega \in A$$

# TODENNÄKÖISYYS (TN)

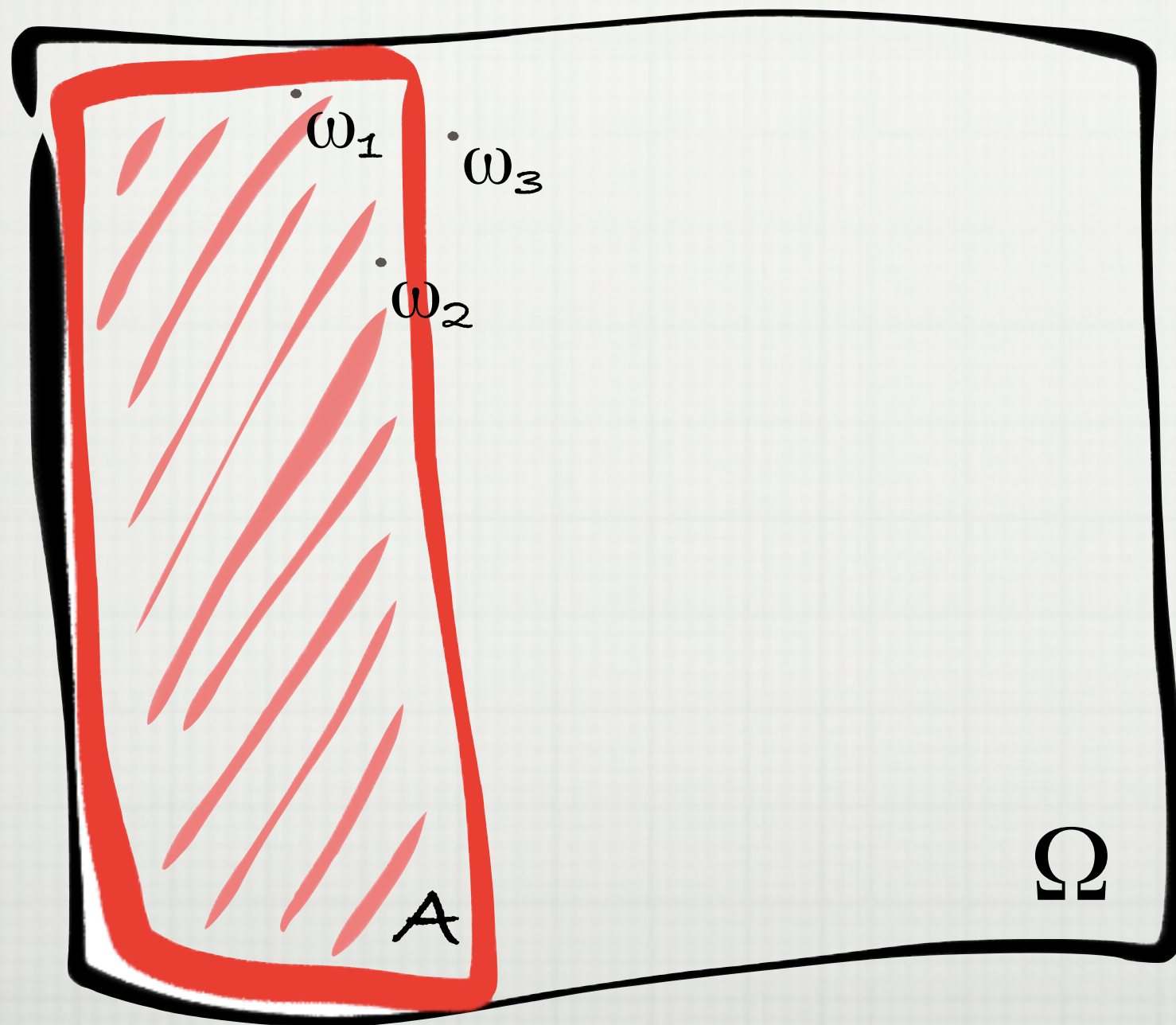
---





# TODENNÄKÖISYYS (TN)

---

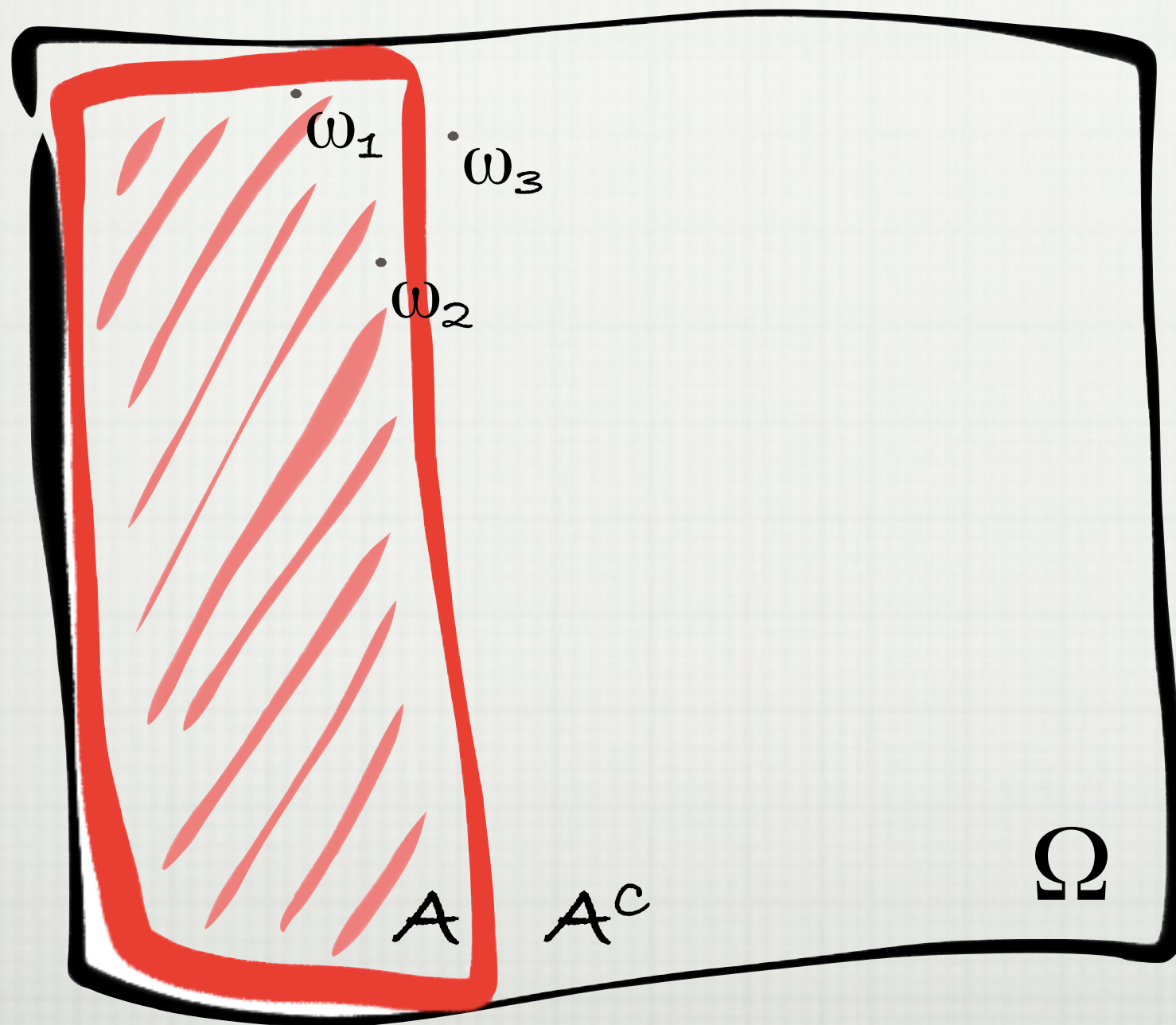


$$\omega_1 \in A$$

$$\omega_2 \in A$$

$$\omega_3 \notin A$$

# TODENNÄKÖISYYS (TN)



$$\omega_1 \in A$$

$$\omega_2 \in A$$

$$\omega_3 \notin A$$

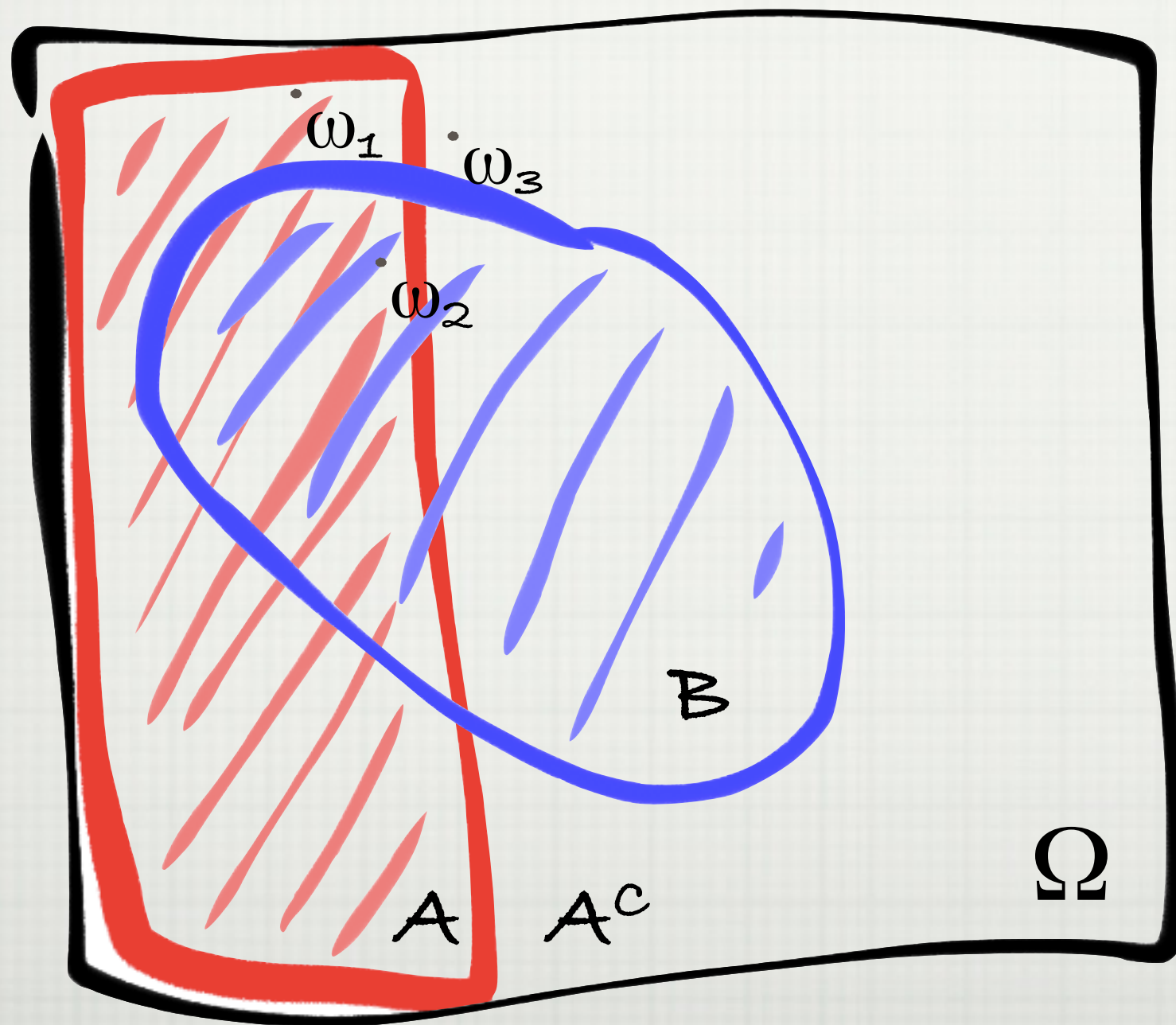
$$\omega_1 \notin A^c$$

$$\omega_2 \notin A^c$$

$$\omega_3 \in A^c$$



# TODENNÄKÖISYYS (TN)



$$\omega_1 \in A$$

$$\omega_2 \in A$$

$$\omega_3 \notin A$$

$$\omega_1 \notin A^c$$

$$\omega_2 \notin A^c$$

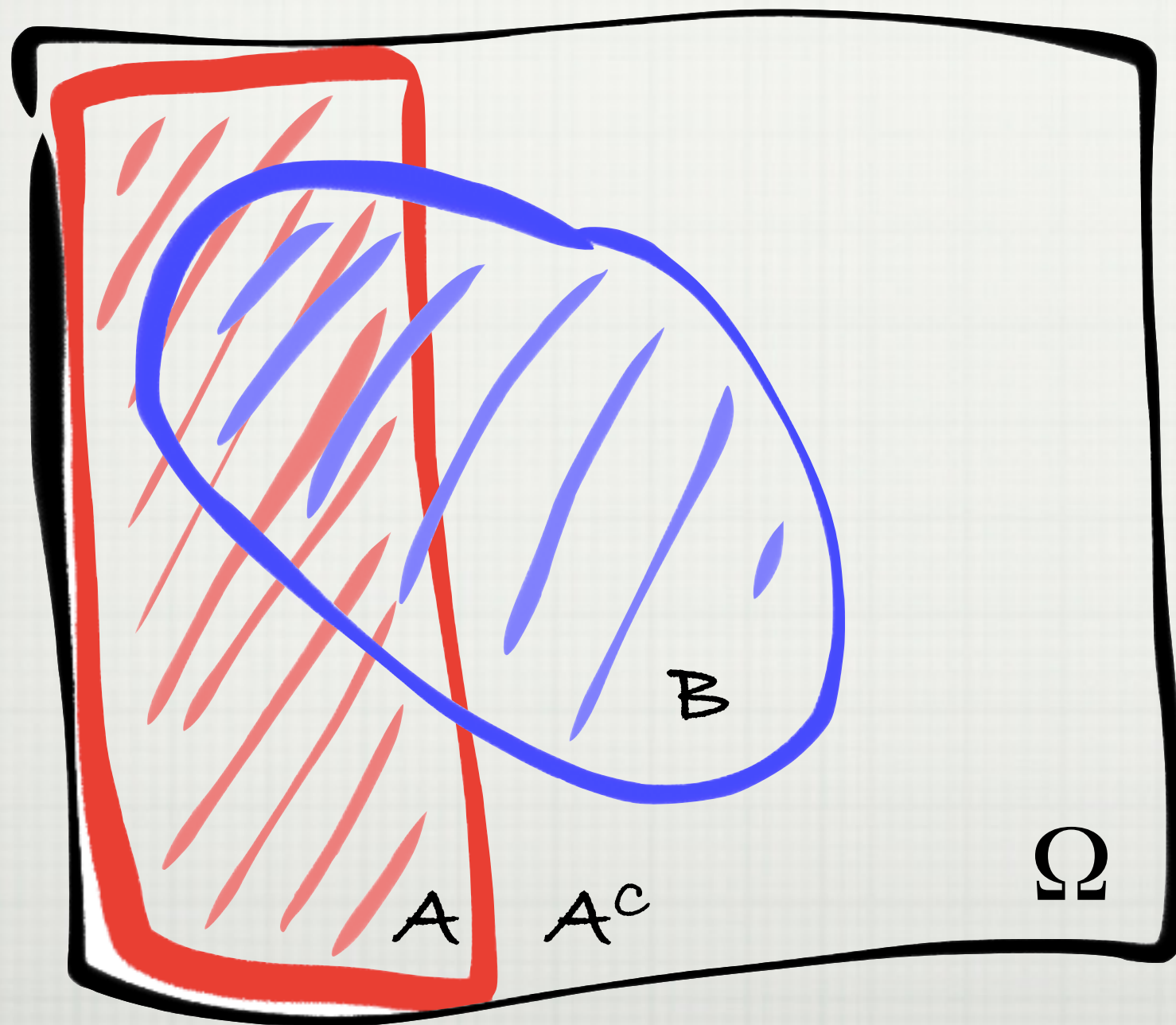
$$\omega_3 \in A^c$$

$$\omega_1 \notin B$$

$$\omega_2 \in B$$

$$\omega_3 \notin B$$

# TODENNÄKÖISYYS (TN)



$$P(A) = \sum_{\omega \in A} P(\omega)$$

$$P(\neg A) = \sum_{\omega \in A^c} P(\omega)$$

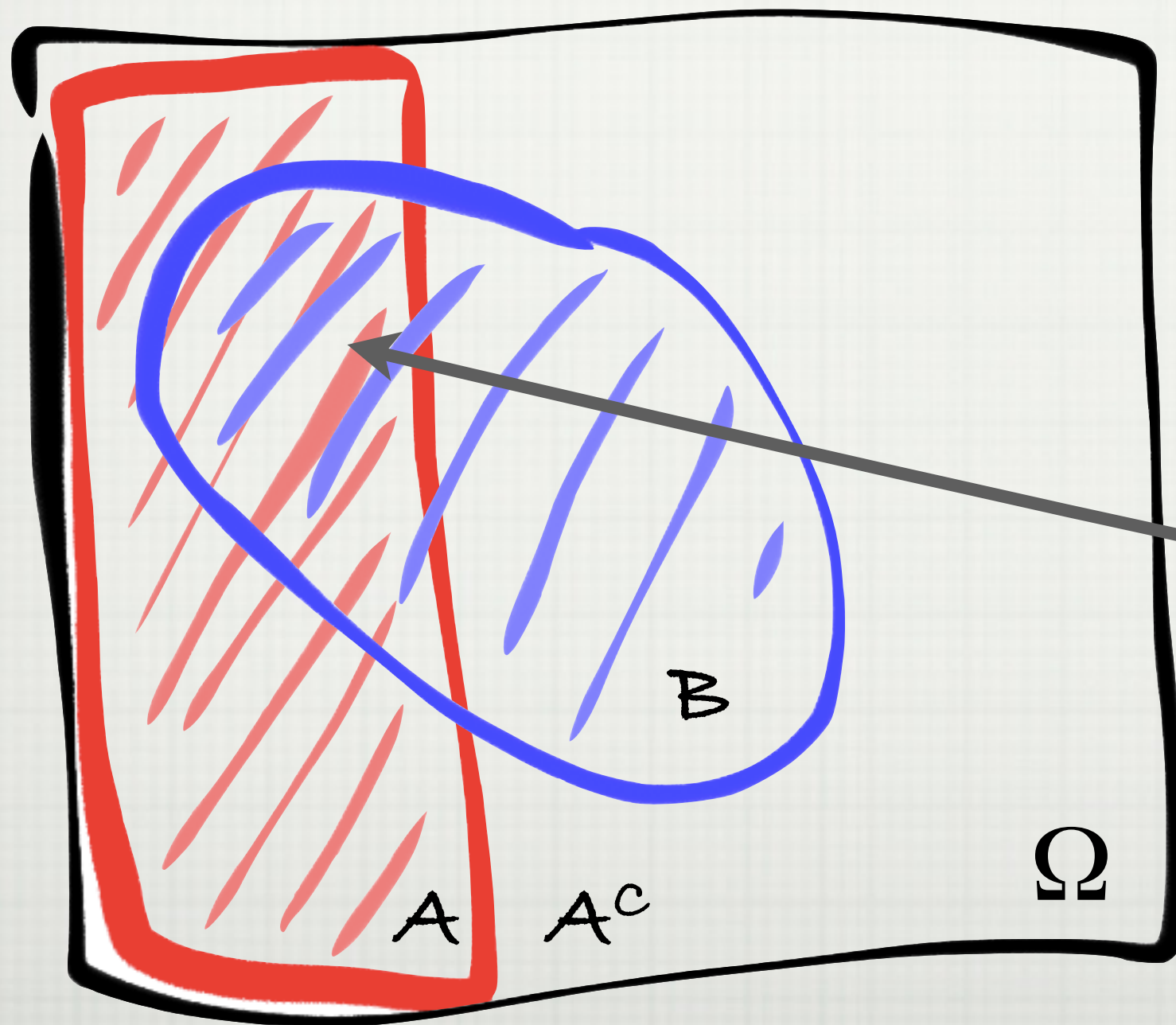
$$P(B) = \sum_{\omega \in B} P(\omega)$$

$$P(A \wedge B) = \sum_{\omega \in A \cap B} P(\omega)$$

"JA"



# TODENNÄKÖISYYS (TN)



$$P(A) = \sum_{\omega \in A} P(\omega)$$

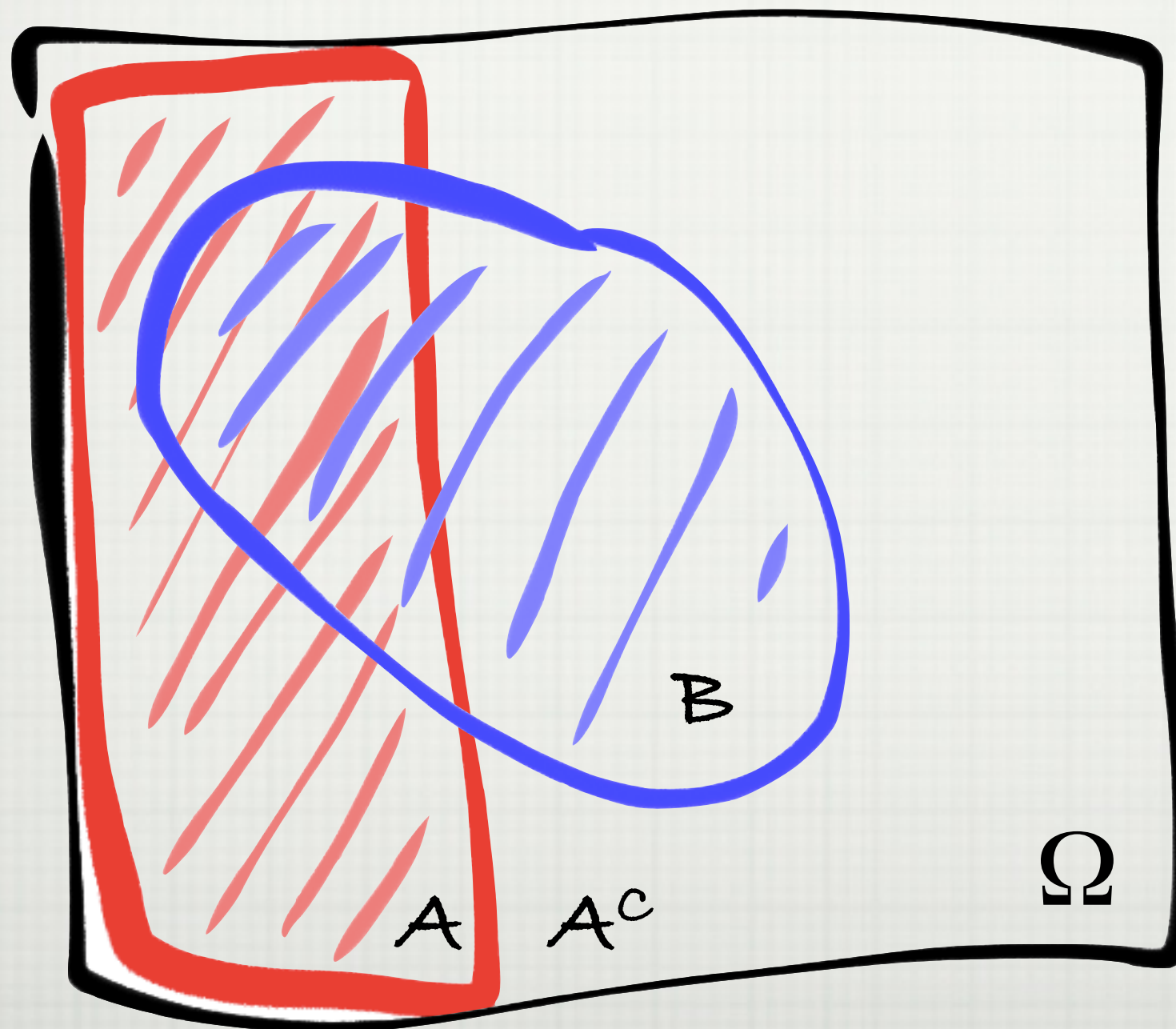
$$P(\neg A) = \sum_{\omega \in A^c} P(\omega)$$

$$P(B) = \sum_{\omega \in B} P(\omega)$$

$$P(A, B) = \sum_{\omega \in A \cap B} P(\omega)$$

"JA"

# TODENNÄKÖISYYS (TN)



$$P(A) = \sum_{\omega \in A} P(\omega)$$

$$P(\neg A) = \sum_{\omega \in A^c} P(\omega)$$

$$P(B) = \sum_{\omega \in B} P(\omega)$$

$$P(A, B) = \sum_{\omega \in A \cap B} P(\omega)$$

"JA"

$$P(A \cup B) = \sum_{\omega \in A \cup B} P(\omega)$$

"TAI"

$$A \cup B = B \cup A$$

$$A \cap B \cap C = C \cap B \cap A$$



# TODENNÄKÖISYYS (TN)

---

- \*  $\Omega = \{1,2,3,4,5,6\}$
- \*  $P(\omega) = 1/6$  KAIKILLA  $\omega \in \Omega$
- \*  $A = \text{"PARILLINEN"} = \{2,4,6\}$
- \*  $P(A) = \underline{50\%}$



# TODENNÄKÖISYYS (TN)

2 NOPPAA:

- \*  $\Omega = \{(1,1), (1,2), (1,3), (1,4), (1,5), (1,6),$   
 $(2,1), (2,2), (2,3), (2,4), (2,5), (2,6),$   
 $(3,1), (3,2), (3,3), (3,4), (3,5), (3,6),$   
 $(4,1), (4,2), (4,3), (4,4), (4,5), (4,6),$   
 $(5,1), (5,2), (5,3), (5,4), (5,5), (5,6),$   
 $(6,1), (6,2), (6,3), (6,4), (6,5), (6,6)\}$



- \*  $P(\omega) = 1/36$  KAIKILLA  $\omega \in \Omega$

- \*  $A = \text{"SUMMA ON 2"} = \{(1,1)\}$

- \*  $P(A) = \underline{1/36} = \text{about } 2.78\% \underline{\hspace{2cm}}$



# TODENNÄKÖISYYS (TN)

2 NOPPAA:

$$\begin{aligned} * \quad \Omega = & \{(1,1), (1,2), (1,3), (1,4), (1,5), (1,6), \\ & (2,1), (2,2), (2,3), (2,4), (2,5), (2,6), \\ & (3,1), (3,2), (3,3), (3,4), (3,5), (3,6), \\ & (4,1), (4,2), (4,3), (4,4), (4,5), (4,6), \\ & (5,1), (5,2), (5,3), (5,4), (5,5), (5,6), \\ & (6,1), (6,2), (6,3), (6,4), (6,5), (6,6)\} \end{aligned}$$



$$* \quad P(\omega) = 1/36 \quad \text{KAIKILLA } \omega \in \Omega$$

$$* \quad A = \text{"SUMMA ON 6"} = \{(1,5), (2,4), (3,3), (4,2), (5,1)\}$$

$$* \quad P(A) = \underline{\quad 5/36 \quad}$$

# TODENNÄKÖISYYS (TN)

2 NOPPAA:

$$\begin{aligned} * \quad \Omega = & \{(1,1), (1,2), (1,3), (1,4), (1,5), (1,6), \\ & (2,1), (2,2), (2,3), (2,4), (2,5), (2,6), \\ & (3,1), (3,2), (3,3), (3,4), (3,5), (3,6), \\ & (4,1), (4,2), (4,3), (4,4), (4,5), (4,6), \\ & (5,1), (5,2), (5,3), (5,4), (5,5), (5,6), \\ & (6,1), (6,2), (6,3), (6,4), (6,5), (6,6)\} \end{aligned}$$



$$* \quad P(\omega) = 1/36 \quad \text{KAIKILLA } \omega \in \Omega$$

$$* \quad A = \text{"SUMMA ON 6"} = \{(1,5), (2,4), (3,3), (4,2), (5,1)\}$$

$$\begin{aligned} * \quad B = \text{"TUPLAT"} &= \{(1,1), (2,2), (3,3), (4,4), (5,5), (6,6)\} \\ P(B) &= 3/36 = 1/6 \end{aligned}$$



# TODENNÄKÖISYYS (TN)

2 NOPPAA:

$$\begin{aligned} * \quad \Omega = & \{(1,1), (1,2), (1,3), (1,4), (1,5), (1,6), \\ & (2,1), (2,2), (2,3), (2,4), (2,5), (2,6), \\ & (3,1), (3,2), (3,3), (3,4), (3,5), (3,6), \\ & (4,1), (4,2), (4,3), (4,4), (4,5), (4,6), \\ & (5,1), (5,2), (5,3), (5,4), (5,5), (5,6), \\ & (6,1), (6,2), (6,3), (6,4), (6,5), (6,6)\} \end{aligned}$$



$$* \quad P(\omega) = 1/36 \quad \text{KAIKILLA } \omega \in \Omega$$

$$* \quad A = \text{"SUMMA ON 6"} = \{(1,5), (2,4), (3,3), (4,2), (5,1)\}$$

$$* \quad B = \text{"TUPLAT"} = \{(1,1), (2,2), (3,3), (4,4), (5,5), (6,6)\}$$

$$* \quad P(A \vee B) = \underline{\quad 10/36 \quad}$$

# TODENNÄKÖISYYS (TN)

---

1.  $P(\neg A) = \underline{\quad 1 - P(A) \quad}$

2.  $P(A \vee \neg A) = \underline{\quad 1 \quad}$

3.  $P(A \wedge \neg A) = \underline{\quad 0 \quad}$

4.  $P(A \vee B) = P(A) + P(B) - P(A \wedge B)$

5.  $\underline{\quad P(A) \quad} = P(A, B) + P(A, \neg B)$