

# IN1140: Introduksjon til språkteknologi

## *Forelesning #12*

Lilja Øvrelid

Universitetet i Oslo

14 november 2019





## I dag

- ▶ Repetisjon
- ▶ Digital prøveeksamen
- ▶ Obligkonkurransen

## Neste uke

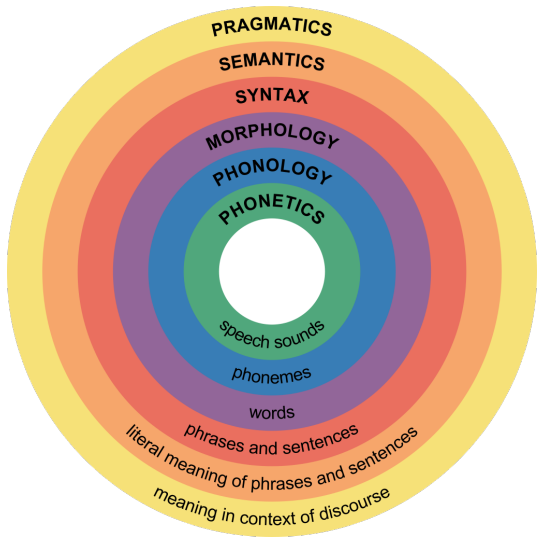
- ▶ Gjennomgang av eksamensoppgave



Emnet gir en innføring i språkteknologi: metoder for automatisk analyse av språklige data. Det vil videre gi en innføring i *lingvistisk teori* og relatere denne til *språkteknologiske problemområder*. Det vil gis et første møte med noen språkteknologiske oppgaver som eksempelvis *tokenisering*, *n-grammodeller*, *tagging* og *klassifisering*.



# Lingvistikk



- ▶ Vitenskapelige studiet av språk
- ▶ Vitenskapelig? Systematisk studie av regler, systemer og prinsipper i menneskelige språk
- ▶ Kunnskapen om enheter og regler i et språk

## Nivåer

- ▶ Fonologi: lyder  $\Rightarrow$  ord
- ▶ **Morfologi**: morfemer  $\Rightarrow$  ord
- ▶ **Syntaks**: ord  $\Rightarrow$  fraser, fraser  $\Rightarrow$  setninger
- ▶ **Semantikk**: ord  $\Rightarrow$  mening, setninger  $\Rightarrow$  mening



- ▶ De fleste språkteknologiske applikasjoner må håndtere **flertydighet** (“ambiguity”)
- ▶ Kjennetegner naturlige språk, på alle nivåer
  - ▶ *I saw her duck*
  - ▶ *Krasjet med rådyr på moped* (Agderposten)



- ▶ Menneskelig språkprosessering:
  - ▶ afasistudier, hjernescanning
- ▶ Språkteknologi:
  - ▶ **korpusdata** helt sentralt (**representativitet**)





## Handler om **ord**

- ▶ Hvordan ord er bygd opp (morfemer)
- ▶ Hvordan nye ord **dannes** (avledning, sammensetning)
- ▶ Hvordan ord **bøyes**



- ▶ Morfemet er den elementære (minste) lingvistiske enheten
- ▶ To hovedtyper:
  - ▶ **Frie** morfemer: ord. *boy, desire, gentle, man*
  - ▶ **Bundne** morfemer: affikser.
    - ▶ prefikser: *un-, pre-, bi-*
    - ▶ suffikser: *-ing, -ish, -ness*
- ▶ Morfologisk komplekse ord består av:
  - ▶ **Rot** + en eller flere affikser (*hus+lig*)
  - ▶ En rot er et ordelement som ikke kan deles opp i mindre (meningsbærende) deler

- ▶ En avledning er et ord som er dannet fra et annet ord ved hjelp av et avledningsaffiks (prefiks eller suffiks),
  - ▶ Avledningsbasen kan være et rotord (*barn*) eller en avledning (*barnslig*)
  - ▶ Avledningsaffiksene har ofte et klart **semantisk** innhold
- ▶ *u-* - negasjon: *umulig, uvel, urolig*
  - ▶ *for-* - foran: *forelese, forbokstav, formann*
  - ▶ *-er* - den som utfører handlingen: *fisker, baker*

- ▶ Markerer kategorier som tid (tempus), tall (numerus), bestemthet, etc.
- ▶ Noen eksempler:

- ▶ **Tid (tempus)**: angir tidspunktet for handlingen. Presens (nåtid) og preteritum (fortid) *liker-likte, likes-liked*
- ▶ **Tall**: entall og flertall *bil-biler, car-cars*
- ▶ **Bestemthet**: uttrykkes i hovedsak ved suffiks (*bilen, huset*)



- ▶ Bindeledd mellom ordet og setningen (syntaks):
  - ▶ Sier noe om hva slags kontekster et ord forekommer i
  - ▶ Sier noe om uttale (*record*, *content*)
- ▶ Viktig i en rekke språkteknologiske oppgaver:
  - ▶ Talesyntese
  - ▶ “Chunking”, syntaktisk parsing
  - ▶ Informasjonsekstraksjon
- ▶ Vi trenger **kriterier** for ordklasseinndeling

## Tre slags kriterier:

1. **Formelle** (morfologiske) kriterier
  - ▶ hvilke bøyningsformer har ordet?
    - ▶ *hare - haren* og *redd - reddere*
    - ▶ *\*harere* og *\*redde*
2. **Funksjonelle** (syntaktiske) kriterier
  - ▶ hvordan kan ordet kombineres med andre ord?
    - ▶ *en redd hare* og *redd for ilden*
    - ▶ *\*en redd* og *\*en hare for ilden*
3. **Betydningsmessige** (semantiske) kriterier
  - ▶ hva er typiske betydninger hos ord i ordklassen?
    - ▶ *hare* - dyr, levende vesen
    - ▶ *redd* - egenskap



## åpne vs. lukkede ordklasser

- ▶ nye medlemmer?
- ▶ **åpne**: substantiv, verb og adjektiv inneholder mange tusen ord, kan enkelt fylle på med nye
- ▶ **lukkede**: inneholder mange færre ord enn de åpne kan ikke fritt skape nye ord gjennom orddannelse

## åpne vs. lukkede ordklasser

- ▶ nye medlemmer?
- ▶ **åpne**: substantiv, verb og adjektiv inneholder mange tusen ord, kan enkelt fylle på med nye
- ▶ **lukkede**: inneholder mange færre ord enn de åpne kan ikke fritt skape nye ord gjennom orddannelse

## innholdsord vs. funksjonsord

- ▶ semantisk innhold?
- ▶ **innholdsord**: substantiv, verb, adjektiv rikt betydningsinnhold, refererer utenfor språket
- ▶ **funksjonsord**: mer allment betydningsinnhold, refererer ikke utenfor språket. Finns fremst i de lukkede ordklassene.
- ▶ Ikke helt én-til-én, feks hjelpeverb.



“Studiet av hvordan setninger bygges opp av ord og ordkombinasjoner”





- ▶ **Konstituenter** – grupperinger av ord i en setning, fungerer som en enhet

## Lingvistiske tester:

- ▶ “stå alene”-testen
- ▶ “erstattes med pronomen”
- ▶ “Flyttes som enhet”

▶ Norsk eksempel: *Den lille hunden lekte i hagen*

- ▶ **Konstituenter** – grupperinger av ord i en setning, fungerer som en enhet

## Lingvistiske tester:

- ▶ “stå alene”-testen
- ▶ “erstattes med pronomen”
- ▶ “Flyttes som enhet”

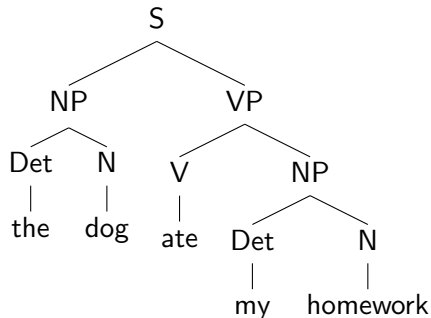
▶ Norsk eksempel: *Den lille hunden lekte **i hagen***

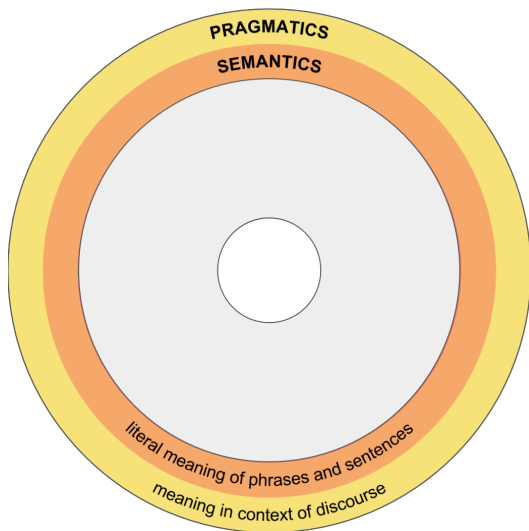
- ▶ (*Hvor lekte hunden?*) *I hagen* (stå alene)
- ▶ *Hunden lekte **der*** (erstattes med pronomen)
- ▶ *I hagen lekte hunden* (flytter som enhet)



- ▶ **Fraser** - bygger opp setningen eller andre fraser og navngis etter hodet
  - ▶ NP (noun phrase), f.eks. *det pene huset*
  - ▶ VP (verb phrase) f.eks. *liker fotball*
  - ▶ PP (prepositional phrase), f.eks. *i skogen*  
etc.

- ▶ Frasale kategorier: NP, VP, AdjP, PP
- ▶ Leksikale kategorier (ordklasser): N, V, P, Adj, Adv
- ▶ Frasestrukturtre (Phrase Structure (PS) tree)





- ▶ Studiet av betydning slik det uttrykkes gjennom språk
- ▶ Betydning til morfemer, ord, fraser og setninger
  - ▶ Leksikal semantikk
  - ▶ Setningssemantikk
  - ▶ (Pragmatikk: hvordan konteksten påvirker betydning)



- ▶ Representerer betydningen til **ord**
- ▶ Vise hvordan betydningene er relatert

## Leksikale relasjoner:

- ▶ **Homonymi** (not, knot) og **polysemi** (flere betydninger, men betydningene er relatert)
- ▶ **Synonymi**
- ▶ **Antonymi** (enkle, gradérbare, taksonomiske søstre ...)
- ▶ **Hyponymi** (hund, katt er hyponymer av dyr)



- ▶ Beregner **sannhetsverdien** for setninger basert på betydningen til mindre deler (ord, fraser)
- ▶ Semantisk analyse ved oversettelse fra engelsk (eller norsk eller ...) til et universelt metaspråk (førsteordenslogikk)





- ▶ Semantiske roller beskriver den semantiske relasjonen som argumenter har til handlingen beskrevet av verbet
- ▶ *Nina* hevet *bilen* med *jekken*
  - ▶ *Nina* – deltageren som er ansvarlig for å utføre handlingen beskrevet av verbet
  - ▶ *bilen* – blir påvirket av handlingen
  - ▶ *jekken* – middelet som Nina bruker til å utføre handlingen



# Formelle modeller



- ▶ Hentet fra matematikk, statistikk og (generell) informatikk
- ▶ Representere lingvistisk kunnskap
  - ▶ Regulære uttrykk
  - ▶ Formelle regelsystemer
  - ▶ Statistiske modeller

- ▶ Et regulært uttrykk er en beskrivelse av en mengde strenger
- ▶ Brukes til tekstsøk

## Regulære uttrykk består av

- ▶ **Strenger** bestående av tegn: b, INF1820, informatikk
- ▶ **Disjunksjon**: penge(r|ne), [Dd]en, [A-Z], [0-9]
- ▶ **Negasjon**: [^b] [^A-Z0-9]
- ▶ **Tellere**: Kleenes \*, +, ?
  - ▶ opsjonalitet (0 eller 1): ? woodchucks?
  - ▶ hvilket som helst antall (0 eller flere): Kleenes \* baaa! [0-9][0-9]\*
  - ▶ minst en: +: baa+! [0-9]+ kroner
- ▶ **"wildcard"** for et hvilket som helst tegn: .  
beg.n beltedyr.\*beltedyr



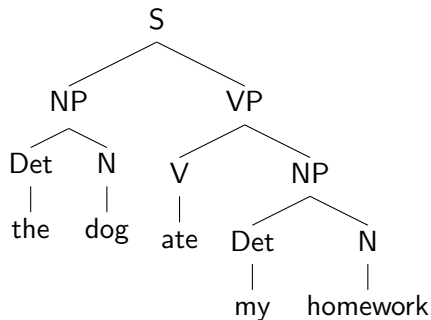
- ▶ Formell modell som fanger inn **syntaktisk** konstituentstatus og rekkefølge
- ▶ Formelt: en CFG er en 4-tupplel  $\langle N, \Sigma, P, S \rangle$ , der
  - ▶  $N$  er en mengde **ikke-terminale** symboler (syntaktiske kategorier)
  - ▶  $\Sigma$  er en mengde **terminale** symboler (ord)
  - ▶  $R$  er en mengde **regler** (produksjoner) på formen  $A \rightarrow \alpha$ , der
    - ▶  $A$  er en ikke-terminal
    - ▶  $\alpha$  er en streng av symboler hentet fra mengden  $(\Sigma \cup N)^*$ , dvs både terminaler og ikke-terminaler
    - ▶ Et særskilt startsymbol  $S$



## Eksempel CFG

- ▶ La  $G = \langle N, \Sigma, R, S \rangle$  der
  - ▶  $N = \{S, NP, VP, DT, N, V, N\}$
  - ▶  $\Sigma = \{the, my, dog, homework, ate\}$
  - ▶  $R = \{S \rightarrow NP VP,$   
     $NP \rightarrow Det N,$   
     $VP \rightarrow V NP,$   
     $DT \rightarrow the, my,$   
     $N \rightarrow dog, homework,$   
     $V \rightarrow ate,$   
     $\}$
  - ▶  $S = S$

- En rekke applikasjoner av reglene kan visualiseres som **trær**





---

**Direkte** rekursjon:

---

NP  $\rightarrow$  NP PP

VP  $\rightarrow$  VP PP

---

---

**Indirekte** rekursjon:

---

S  $\rightarrow$  NP VP

VP  $\rightarrow$  V CP

CP  $\rightarrow$  C S

*said that the flight was late*



- ▶ Lar oss kvantifisere **usikkerhet**.
- ▶ Uttrykk for sjanse eller odds.
- ▶ **Sannsynlighet** for en hendelse: en verdi mellom 0 og 1, gitt ved  $P$ :
  - ▶  $P$ (seks på terningen)
  - ▶ Betinget sannsynlighet:  
 $P(\text{sol i morgen} \mid \text{regn i dag})$





- ▶ **Felles** sannsynlighet (“joint probability”)
  - ▶  $P(A, B)$ : sannsynligheten for at både  $A$  og  $B$  skjer.
  - ▶ Skrives også:  $P(A \cap B)$ .
- ▶ **Betinget** sannsynlighet (“conditional probability”)
  - ▶ Vi har ofte *delvis kunnskap* om en hendelse:  $P(A|B)$



- ▶ En **språkmodell** tilskriver sannsynligheter  $P(x)$  til alle ordsekvenser  $x$  i et språk  $L$ .
- ▶ Gitt en sekvens  $w_1, w_2 \dots w_k = w_1^k$  så ønsker vi å estimere den felles sannsynligheten for ordene  $P(w_1^k)$ .
- ▶ F.eks:  $P(\text{jeg, vil, drikke, kaffe, nå})$

- ▶ En **språkmodell** tilskriver sannsynligheter  $P(x)$  til alle ordsekvenser  $x$  i et språk  $L$ .
- ▶ Gitt en sekvens  $w_1, w_2 \dots w_k = w_1^k$  så ønsker vi å estimere den felles sannsynligheten for ordene  $P(w_1^k)$ .
- ▶ F.eks:  $P(\text{jeg, vil, drikke, kaffe, nå})$

## 1. Vi bruker **produktsetningen**:

$$P(w_1 \dots w_k) = P(w_1) P(w_2|w_1) P(w_3|w_1, w_2) \dots P(w_k|w_1^{k-1})$$

## 2. Vi forenkler med **Markovantagelsen**:

De  $n - 1$  siste elementene lar oss tilnærme effekten av å betrakte hele sekvensen.

Eksempel for  $n = 2$ :

$$P(w_1^k) \approx \prod_{i=1}^k P(w_i|w_{i-1})$$



- ▶ Et  $n$ -gram er en delsekvens på  $n$  ord:
- ▶  $n$ -grammer i *jeg vil drikke kaffe nå*:

- ▶ **unigrammer** ( $n = 1$ ):  $\langle \text{jeg} \rangle$ ,  $\langle \text{vil} \rangle$ ,  $\langle \text{drikke} \rangle$ ,  $\langle \text{kaffe} \rangle$ ,  $\langle \text{nå} \rangle$
- ▶ **bigrammer** ( $n = 2$ ):  $\langle \text{jeg, vil} \rangle$ ,  $\langle \text{vil, drikke} \rangle$ ,  $\langle \text{drikke, kaffe} \rangle$ ,  $\langle \text{kaffe, nå} \rangle$
- ▶ **trigrammer** ( $n = 3$ ):  $\langle \text{jeg, vil, drikke} \rangle$ ,  $\langle \text{vil, drikke, kaffe} \rangle$ ,  $\langle \text{drikke, kaffe, nå} \rangle$
- ▶ **4-grammer** ( $n = 4$ ):  $\langle \text{jeg, vil, drikke, kaffe} \rangle$ ,  $\langle \text{vil, drikke, kaffe, nå} \rangle$



- ▶ Vi estimerer  $P$  ved å telle  $n$ -grammer og se på relativ frekvens:

$$P(w_i | w_{i-n+1}, \dots, w_{i-1}) = \frac{\text{Count}(w_{i-n+1}, \dots, w_i)}{\text{Count}(w_{i-n+1}, \dots, w_{i-1})}$$



- ▶ Vi estimerer  $P$  ved å telle  $n$ -grammer og se på relativ frekvens:

$$P(w_i | w_{i-n+1}, \dots, w_{i-1}) = \frac{\text{Count}(w_{i-n+1}, \dots, w_i)}{\text{Count}(w_{i-n+1}, \dots, w_{i-1})}$$

- ▶ F.eks, for bigrammer:

$$P(\text{kaffe} | \text{drikke}) = \frac{\text{Count}(\text{drikke}, \text{kaffe})}{\text{Count}(\text{drikke})}$$



- ▶ Vi estimerer  $P$  ved å telle  $n$ -grammer og se på relativ frekvens:

$$P(w_i | w_{i-n+1}, \dots, w_{i-1}) = \frac{\text{Count}(w_{i-n+1}, \dots, w_i)}{\text{Count}(w_{i-n+1}, \dots, w_{i-1})}$$

- ▶ F.eks, for bigrammer:

$$P(\text{kaffe} | \text{drikke}) = \frac{\text{Count}(\text{drikke}, \text{kaffe})}{\text{Count}(\text{drikke})}$$

- ▶ Kalles **Maximum Likelihood Estimation** (MLE).
- ▶ I praksis legger vi gjerne også til markører for start og slutt for sekvensen:  $\langle s \rangle$  og  $\langle /s \rangle$ .





$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)}$$

- ▶ Bayes regel/teorem viser hvordan vi kan beregne inverse sannsynligheter, dvs dersom vi vet  $P(A|B)$ , hvordan kan vi beregne  $P(B|A)$ ?
- ▶ Brukes i Naive Bayes klassifisering, gjør enklere å estimere sannsynligheter fra et korpus

# Statistisk klassifisering

- ▶ Sentral metode innenfor maskinlæring
- ▶ Automatisk avgjøre hvilken kategori en observasjon tilhører
- ▶ Basert på **treningsdata**: observasjoner der kategorien er kjent
  - ▶ e-post  $\rightarrow$  {spam, ikke-spam}
  - ▶ dokument  $\rightarrow$  {positiv, negativ}
  - ▶ ord  $\rightarrow$  {betydning<sub>1</sub>, betydning<sub>2</sub>}
- ▶ **veiledet** ('supervised') klassifisering: klassifisering som benytter treningsdata
- ▶ Evaluerer på usette **testdata**



- ▶ En enkel men effektiv **statistisk klassifiserer**

$$\hat{c} = \operatorname{argmax}_{c \in \mathcal{C}} P(c) \prod_{j=1}^n P(f_j | c)$$



- ▶ En enkel men effektiv **statistisk klassifiserer**

$$\hat{c} = \operatorname{argmax}_{c \in C} P(c) \prod_{j=1}^n P(f_j | c)$$

- ▶ Vi **trener** klassifisereren ved å beregne sannsynligheter fra et korpus (MLE)

## 2 sannsynligheter:

1. prior-sannsynligheten for **klassen**  $P(c)$
2. sannsynligheten for **individuelle trekk**  $P(f_j | c)$



► To sannsynligheter:

1. **prior**-sannsynligheten for klassen  $P(c)$

$$P(c) = \frac{N_c}{N_{doc}}$$

$N_c$  = antall dokumenter i treningsdataen som er i klassen  $c$

$N_{doc}$  = total antall dokumenter

2. sannsynligheten for **individuelle trekk**  $P(f_j|c)$

$$P(f_j|c) = \frac{\text{count}(f_j, c)}{\text{count}(c)}$$



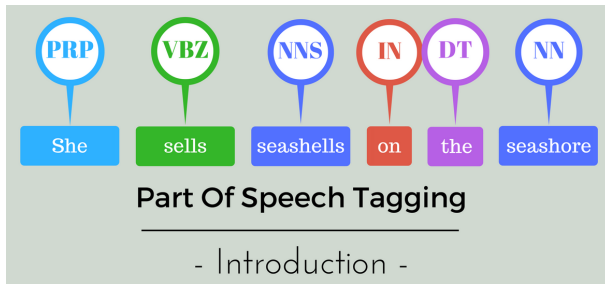
# Språkteknologiske Oppgaver & Applikasjoner

- ▶ Dele opp en tekst i løpende ord
- ▶ Første skritt i nesten alle språkteknologiske oppgaver

## Problematiske tilfeller:

- ▶ Forkortelser: *f.eks.*
- ▶ Bindestrek: *Oslo-borgeren*
- ▶ Mellomrom: *New York*
- ▶ URL'er
- ▶ ...
- ▶ Tokens og typer

- ▶ Input: streng av ord og en spesifisert mengde tagger (taggsett)
- ▶ Output: en tagg per ord



- ▶ **Flertydighet**
- ▶ **Ekstrinsisk** og **intrinsisk** evaluering



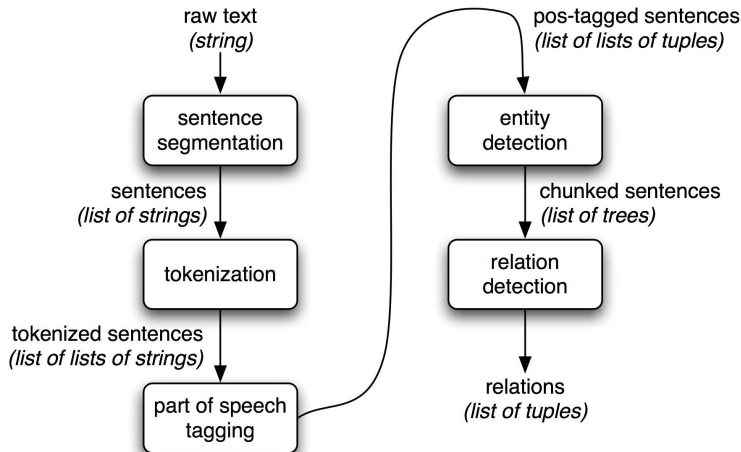


- ▶ **Chunking:**
  - ▶ Dele setningen inn i en sekvens “**chunks**”
  - ▶ En chunk inneholder et **hode**, muligens med noen funksjonsord/modifikatorer først  
[walk] [straight past] [the lake]
- ▶ Forenklete konstituenter (“fram til hodet”)
- ▶ Ikke komplett syntaktisk beskrivelse, men tilstrekkelig for mange applikasjoner
- ▶ **Ikke-rekursive:** en chunk kan ikke inneholde en chunk av samme kategori



- ▶ Gitt en setning med et spesifikt ord (“target word”) og en liste med betydninger (f.eks. fra WordNet), angi den betydningen som passer best for målordet i den setningen
- ▶ Klassifisering fra annotert datasett: **veiledet** klassifisering
  - ▶ Hente ut trekk som er sentrale for disambiguering, f.eks. ord i konteksten, ordklasser, lemma, etc.
- ▶ Naive Bayes-klassifisering

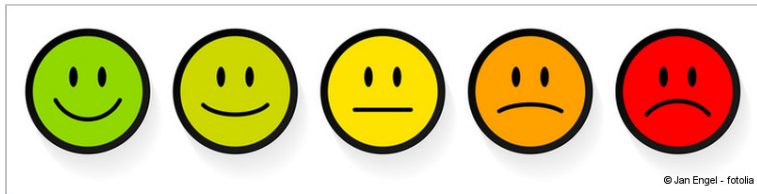
Kombinerer mange språkteknologiske moduler:





Citing high fuel prices, [ORG United Airlines] said [TIME Friday] it has increased fares by [MONEY \$6] per round trip on flights to some cities also served by lower-cost carriers. [ORG American Airlines], a unit of [ORG AMR Corp.], immediately matched the move, spokesman [PER Tim Wagner] said. [ORG United], a unit of [ORG UAL Corp]. said the increase took effect [TIME Thursday] and applies to most routes where it competes against discount carriers, such as [LOC Chicago] to [LOC Dallas] and [LOC Denver] to [LOC San Francisco].

- ▶ BIO-klassifisering



[https:](https://www.clickworker.de/wp-content/uploads/2017/02/Sentiment-Analyse.jpg)

[//www.clickworker.de/wp-content/uploads/2017/02/Sentiment-Analyse.jpg](https://www.clickworker.de/wp-content/uploads/2017/02/Sentiment-Analyse.jpg)

- ▶ På dokument/setningsnivå
- ▶ Klassifisering (f.eks. Naive Bayes)
- ▶ Leksikon (manuelt/automatisk)

A hypnotic background consisting of several concentric circles in shades of red, orange, and brown, creating a tunnel-like effect. The text 'That's all Folks!' is written in a white, cursive font across the center of the circles.

*That's all Folks!*



- ▶ Tenk eksamen
  - ▶ pensum: les **og** jobb aktivt med stoffet
  - ▶ gruppeoppgaver, teoretiske oblig-oppgaver, tidligere eksamensoppgaver
  - ▶ få hjelp: gruppetimer, medstudenter, digitalt
- ▶ Hva funker for deg? (Skrive, snakke og/eller lytte? Gjerne en kombinasjon)
- ▶ Møt opp neste uke!