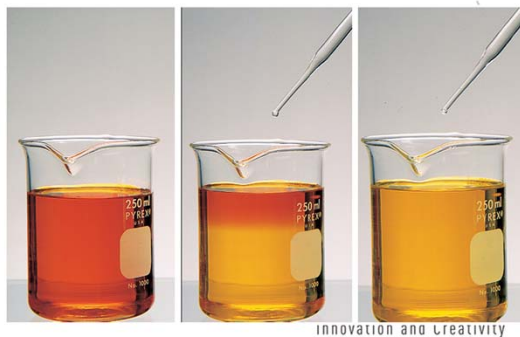


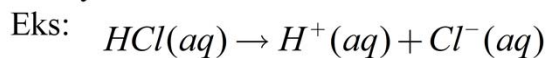
Kapittel 6: Kjemisk likevekt

- Likevektstilstand
- Likevektskonstanten
- Likevektsuttrykk hvor gasser er involvert
- Aktivitet
- Heterogene likevekter
- Le Chatelier's prinsipp



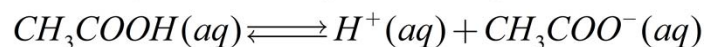
Kjemisk likevekt

- Hittil: Antatt at alle reaksjoner går fullstendig fra venstre til høyre



Pilen \rightarrow viser at reaksjonen går fullstendig

- En del reaksjoner vil ikke gå fullstendig:



Reaktanten forbrukes ikke fullstendig

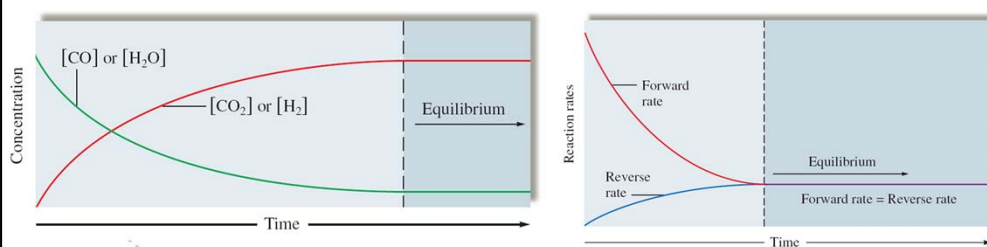
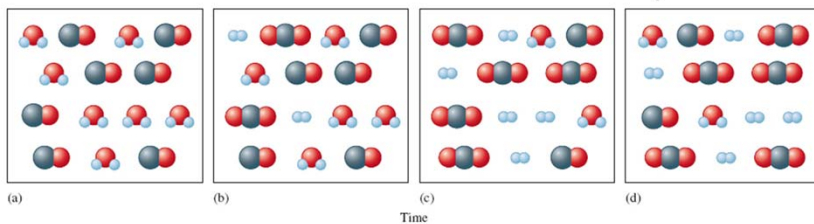
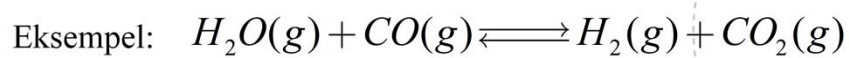
=> Kjemisk likevekt

=> Angis ved likevektspil \rightleftharpoons

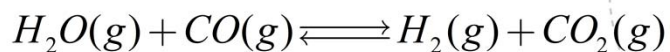
=> Kan være forskjøvet mot høyre eller venstre

6.1 Likevektstilstand

- Ingen endring i konsentrasjon av produkter eller reaktanter
=> Har reaksjonen stoppet opp?
- På molekylnivå vil
$$\text{reaktanter} \longrightarrow \text{produkter} \quad \text{og} \quad \text{reaktanter} \longleftarrow \text{produkter}$$
- Situasjonen kalles dynamisk likevekt
- Reaksjonshastigheten er lik i begge retninger
- Ingen netto endring



c) og d) er likevekt



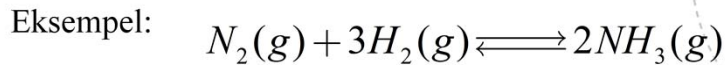
- Hva skjer hvis vi tilsetter mer av en av reaktantene?

Flere $H_2O \Rightarrow rx$ $H_2O(g) + CO(g) \longrightarrow H_2(g) + CO_2(g)$
 pga flere kollisjoner (rx-hastigheten øker)

Samtidig: rx $H_2O(g) + CO(g) \longleftarrow H_2(g) + CO_2(g)$
 pga flere produkter dannet

\Rightarrow systemet vil endres til hastighetene er like
 (likevekt innstilt)

Eksempel:



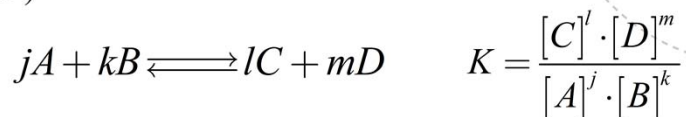
- Kjent som Haber-prosessen
- Industrielt ved 150–300 bar / 300-550°C (+katalysator)
- Hvis disse gassene blandes ved RT skjer ingenting

Generelt: Hvis en reaksjon ikke skjer kan

- systemet være ved likevekt
- reaksjonene (høyre/venstre) er så sakte at systemet beveges mot likevekt med en ikke-detekterbar hastighet

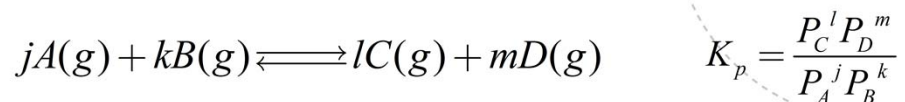
6.2 Likevektskonstanten

- Guldberg og Waage: Massevirkningsloven ("Law of mass action")



- K er uavhengig av konsentrasjonene
- K varierer med temperatur
- Stor K ($K \gg 1$) \Rightarrow konsentrasjonen av produktene er stor
 \Rightarrow likevekten forskjøvet mot høyre
- Liten K ($K \ll 1$) \Rightarrow konsentrasjonen av reaktantene er stor
 \Rightarrow likevekten forskjøvet mot venstre

6.3 Likevekt i gass



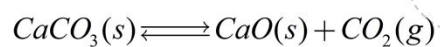
- Ideell gasslov gir $P = \left(\frac{n}{V}\right)RT = CRT$
- $K_p = K(RT)^{\Delta n}$
- Når #mol reaktanter = #mol produkter $\Rightarrow K = K_p$
- Enheter for både K og K_p tilsynelatende avhengig av støkiometrien i rx

6.4 Aktivitet

- Likevektskonstanter er egentlig ubenevnte
- Likevektskonstanten involverer *forholdet* mellom likevektstrykk/-konsentrasjon og en referanse
- Aktivitet:
 Aktivitet (til komponent i) = $a_i = \left(\frac{P_i}{P_{\text{referanse}}} \right) = \left(\frac{P_i}{P^o} \right)$ $a_i = \left(\frac{C_i}{C_{\text{referanse}}} \right) = \left(\frac{C_i}{C^o} \right)$
- $P_{\text{referanse}} = 1 \text{ atm}$ (eksakt!)
- $C_{\text{referanse}} = 1 \text{ mol/L}$ (eksakt!)
- Aktiviteten settes inn i likevektsuttrykket
- Aktiviteten er alltid ubenevnt

6.5 Heterogene likevekter

- Rent *fast* stoff: Får aktivitet lik 1
- Rent *flytende* stoff: Får aktivitet lik 1



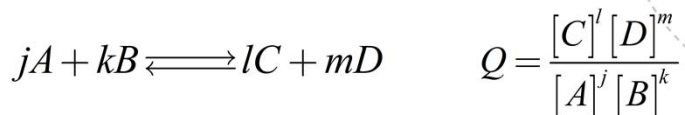
- Mengden av rent stoff inngår ikke i likevektsuttrykket
=> har ingen betydning

6.6 Bruk av likevektskonstanten

Likevektskonstanten kan

- hjelpe oss til å forutsi om en reaksjon vil skje (om vi har likevekt eller ikke)
- om vi får mye eller lite produkter ved likevekt
 - $K \gg 1 \Rightarrow$ nesten bare produkter
 - $K \ll 1 \Rightarrow$ nesten bare reaktanter
 - $K \sim 1 \Rightarrow$ blanding
- ikke fortelle noe om reaksjonshastigheten!

Reaksjonskvotienten/-brøken Q



- Reaksjonsbrøken forteller hvordan reaksjonen går videre
- $Q < K$: Det er for lite produkter til at reaksjonen er i likevekt (teller for liten) \Rightarrow rx forskyves mot høyre
- $Q > K$: Det er for mye produkter til at reaksjonen er i likevekt (teller for stor) \Rightarrow rx forskyves mot venstre
- $Q = K \Rightarrow$ likevekt

6.7 Beregninger med K

STEPS

Solving Equilibrium Problems

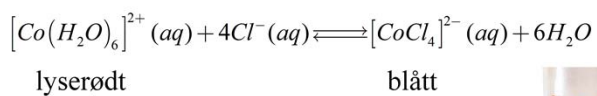
- 1 Write the balanced equation for the reaction.
- 2 Write the equilibrium expression using the law of mass action.
- 3 List the initial concentrations.
- 4 Calculate Q , and determine the direction of the shift to equilibrium.
- 5 Define the change needed to reach equilibrium, and define the equilibrium concentrations by applying the change to the initial concentrations.
- 6 Substitute the equilibrium concentrations into the equilibrium expression, and solve for the unknown.
- 7 Check your calculated equilibrium concentrations by making sure that they give the correct value of K .

- Hvis veldig liten $K \Rightarrow$ endring i reaktantkonsentrasjon fra start til likevekt kan i noen tilfeller ignoreres (NB: Må sjekkes!)
- 2.gradsligning gir to svar \Rightarrow vurder begge (finn hvilken som ikke kan være riktig)

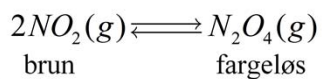
6.8 Le Chateliers prinsipp

Kvantitativt fra massevirkningsloven:

- Tilsettes mer av en komponent til en likevekt, vil konsentrasjonen av stoffene på den andre siden også øke



- Økes trykket inne i en gassreaksjon, vil likevekten forskyves til den siden hvor antall mol av komponentene i gassfasen er minst



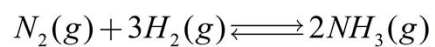
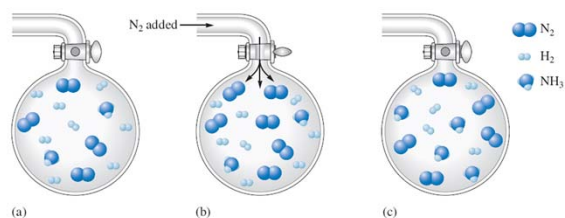
Le Chateliers prinsipp

- Henri Louis Le Chatelier:
Fransk metallurg/fysikalsk kjemiker som i 1886 formulerte observasjonene **kvalitativt**:

Når en dynamisk likevekt påvirkes utenfra, vil likevekten forskyves slik at effekten av påvirkningen blir minst mulig

1. Konsentrasjon/partialtrykk:

Tilsats av en komponent fører til at likevekten forskyves slik at konsentrasjonen/partialtrykket til komponenten avtar. Samtidig øker konsentrasjon/partialtrykk på den andre siden i likevekten



2. Volum-/trykkendring:

Når totaltrykket i en gass øker, vil likevekten forskyves mot den siden hvor # mol er minst



(a)



(b)



(c)

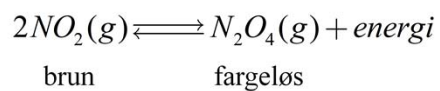


brun

fargeløs

3. Temperaturendring:

Tilføres energi til en likevekt slik at temperaturen øker, vil likevekten forskyves til den siden som forbruker energi



Oppsummering

- Likevektskonstanten: K eller $K_p \Rightarrow$ massevirkningsloven
- Størrelsen av K :
 - $K \gg 1 \Rightarrow$ nesten bare produkter
 - $K \ll 1 \Rightarrow$ nesten bare reaktanter
 - $K \sim 1 \Rightarrow$ blanding
- Aktivitet – forholdet mellom en komponent mot en referanse $\Rightarrow K$ ubenevnt
- Heterogene likevekter:
 - Rent *fast* stoff: Får aktivitet lik 1
 - Rent *flytende* stoff: Får aktivitet lik 1 \Rightarrow kun gasser/løst stoff inngår i likevektsuttrykket
- Reaksjonsbrøken Q :
 - $Q < K \Rightarrow$ rx forskyves mot høyre
 - $Q > K \Rightarrow$ rx forskyves mot venstre
 - $Q = K \Rightarrow$ likevekt
- Le Chatelier's prinsipp – minimere forandring