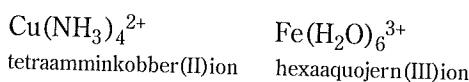




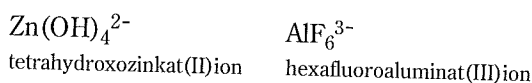
Komplekssets ladning er naturligvis lig med den samlede ladning for metalionen og liganderne.

Det er især metalioner fra undergrupperne, som danner komplekser. Desuden er  $Al^{3+}$  en god kompleksdanner, og ionerne fra 2. hovedgruppe har nogen tilbøjelighed til kompleksdannelse. Derimod danner ionerne fra 1. hovedgruppe normalt ikke komplekser.

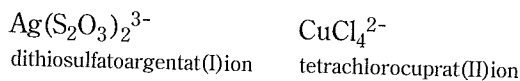
Ved navngivning af komplekser betegnes liganderne med de navne, som står i tabel 7. Antallet af den pågældende ligand angives med de sædvanlige talforstavelser. Vi tager først to eksempler på *positive* komplekser:



Læg mærke til, at man angiver metalionens ladning (dens oxidationstal) med romertal. Ved navngivning af komplekse ioner med *negativ* ladning får metallets navn endelsen -at:



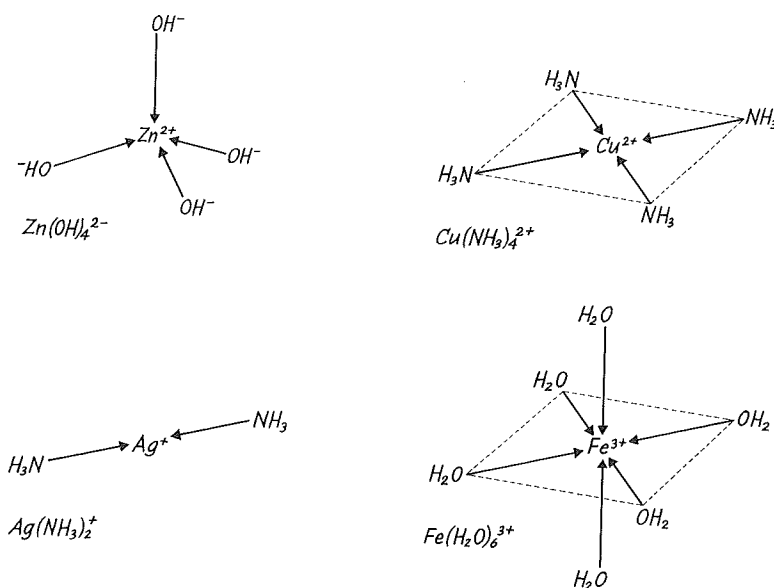
For en række metaller bruger man metallets latinske navn (tabel 8), når man skal danne navnet for en negativ ion, f.eks.:



**Tabel 8.** Nogle metaller  
latinske navne.

Cu	cuprum
Ag	argentum
Au	aurum
Hg	mercurum
Fe	ferrum
Pb	plumbum

På figur 43 ses den rumlige opbygning af nogle karakteristiske



**Figur 43.** Rumlig struktur af nogle komplekser.

komplekser. I komplekser med koordinationsstallet 2 er der lineær struktur omkring metalionen. Nogle komplekser med koordinationsstallet 4 har plan struktur omkring metalionen som i  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ , mens andre har tetraæderstruktur som i  $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$ . Komplekser med koordinationsstallet 6 har octaæderstruktur.

Metalioners komplekser med vand kan have en betragtelig syrestyrke. I tabellen side 300 ser man, at  $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$  er en middelstærk syre, mens  $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$  er en svag syre. Det betyder, at vandige opløsninger af f.eks.  $\text{FeCl}_3$  og  $\text{AlCl}_3$  er sure.

Komplekse ioner eksisterer i vandige opløsninger, men de kan også indgå i iongitre. Vi ser på opbygningen af et salt:

$\text{Cu}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4$  består af  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$  og  $\text{SO}_4^{2-}$   
tetraamminkobber(II)sulfat

I nogle tilfælde er *krystalvand* komplekst bundet til metalionen. F.eks. består  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (»blåsten«) af  $\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4^{2+}$  og  $\text{SO}_4^{2-}$ , og så er der et ekstra vandmolekyle, som er placeret mellem ionerne.

**Opgave 75.** Skriv formler for følgende komplekse ioner:

- Hexaaquojern(II)ion
- Tetraiodomercurat(II)ion
- Tetrahydroxoplumbat(II)ion.

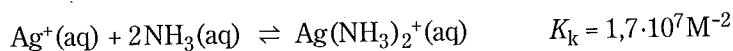
**Opgave 76.** Skriv formler for følgende salte:

- Kaliumhexacyanoferrat(II)
- Kaliumhexacyanoferrat(III).

**Opgave 77.** Beregn pH for 0,100M  $\text{AlCl}_3(\text{aq})$ .

## Kompleksitetskonstanter

Som eksempel ser vi på dannelsen af diamminsølv(I)ionen:



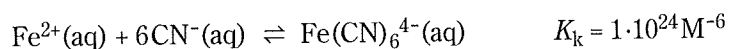
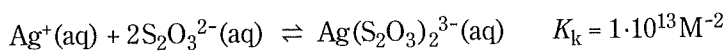
$$\frac{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+]}{[\text{Ag}^+] \cdot [\text{NH}_3]^2} = K_k$$

Ligevægtskonstanten for kompleksdannelsen betegnes  $K_k$ , og den kaldes *kompleksitetskonstanten* for det dannede kompleks.

Kompleksitetskonstanten for  $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+$  er »stor«, dvs. ligevæg-

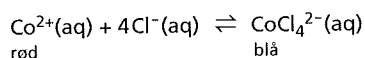
ten ligger langt mod højre. Hvis man anvender overskud af ammoniak, vil så godt som alle sølvioner være komplekst bundet til ammoniakmolekyler. Koncentrationen af frie sølvioner i opløsningen er *meget lille*.

Der anføres nogle flere eksempler på kompleksitetskonstanter:



Man kan ikke umiddelbart sammenligne de anførte konstanter, da de har forskellig enhed. Kompleksitetskonstanterne for dithiosulfatoargentat(I)ionen og diamminsølv(I)ionen har samme enhed, og de kan derfor sammenlignes. Man ser, at dithiosulfatoargentat(I)ionen er det mest »stabile« af de to komplekser, idet den har størst kompleksitetskonstant.

**Opgave 78.** Vi betragter følgende kompleksdannelse:

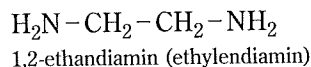


- Anvend ligevægtsloven på ligevægten.
- I hvilken retning sker der forskydning, hvis man øger  $[\text{Cl}^-]$ ?
- I hvilken retning sker der forskydning, hvis man formindsker  $[\text{Cl}^-]$  (kan gøres ved at tilsætte  $\text{Ag}^+$ )?
- Hvad sker der ved fortynding?
- Reaktionen mod højre er endoterm. Hvad sker der, hvis man øger temperaturen?

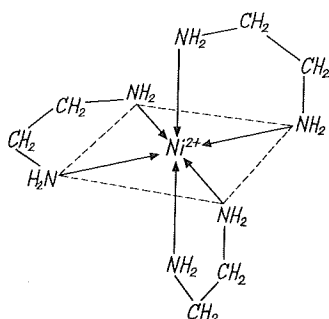
(Svarene kan kontrolleres eksperimentelt. Man kan lave reaktionen ved at tilsætte konc. saltsyre til en opløsning af cobalt(II)chlorid).

## Chelate komplekser

I et almindeligt kompleks danner hver enkelt ligand kun én kompleksbinding til metalionen. Hvis en ligand danner to eller flere kompleksbindinger, kaldes komplekset et *chelate* kompleks. Komplekset på figur 44 på næste side er et eksempel på et chelat kompleks. Liganden er følgende stof:

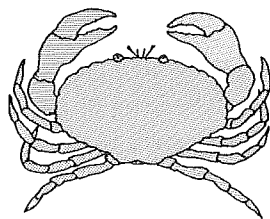


**Figur 44.** Et chelat kompleks. Hver ligandmolekyle danner to kompleksbindinger.



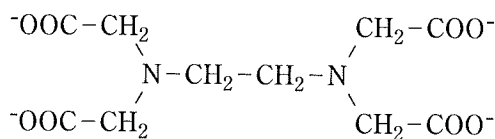
Liganden kaldes normalt ethylendiamin. Komplekset på figur 44 indeholder tre ethylendiaminmolekyler, som hver danner to kompleksbindinger. De to kompleksbindinger leder tanken hen på en krabbes to klør, se figur 45. Kompleksbindingerne dannes af de ledige elektronpar på N-atomerne.

**Figur 45.** Ordet *chelate* er dannet af det græske ord for krabbeklo.



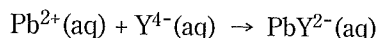
Chelate komplekser er særligt stabile, hvis der opstår en femleddet eller seksleddet ring ved kompleksdannelsen. I komplekset på figur 44 indgår  $\text{Ni}^{2+}$  i en femleddet ring, når den binder sig til de to ender af ethylendiaminmolekylet.

Følgende ion er en meget effektiv kompleksdanner:



ethylendiamintetraacetat-ionen,  $\text{Y}^{4-}$

Ionens navn forkortes EDTA. Det er almindeligt at betegne EDTA-ionen med  $\text{Y}^{4-}$ . Som eksempel ser vi på kompleksdannelsen mellem en bly(II)ion og EDTA:

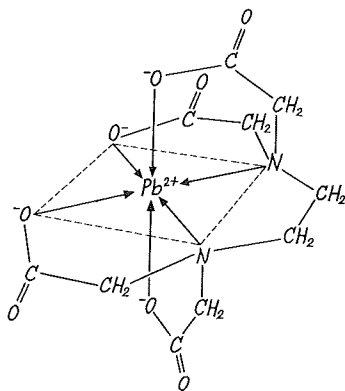


Kompleksets opbygning er vist på figur 46. Som man ser, kan EDTA-ionen danne seks kompleksbindinger. De seks bindinger udgår fra de to N-atomer og fra de fire negativt ladede O-atomer. Også ved denne kompleksdannelse dannes femleddede ringe.

EDTA danner komplekser med mange metalioner. Foruden  $\text{Pb}^{2+}$

kan nævnes  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  og  $\text{Mg}^{2+}$ . Man kan bruge EDTA til titreringer. F.eks. kan man bestemme indholdet af  $\text{Ca}^{2+}$  og  $\text{Mg}^{2+}$  i drikkevand ved at titrere med EDTA.

**Figur 46.** EDTA-komplekset af  $\text{Pb}^{2+}$ .

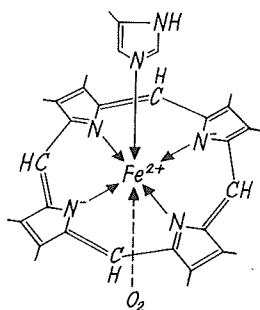


Det skal også nævnes, at EDTA kan bruges medicinsk til at behandle metalforgiftninger, f.eks. blyforgiftning. Når patienten behandles med EDTA, uskadeliggøres  $\text{Pb}^{2+}$  i organismen ved kompleksbinding til EDTA. Komplekset udskilles med urinen.

Chelate komplekser spiller en stor rolle i biokemien. Som eksempel kan vi tage blodets røde farvestof, hæmoglobin, som medvirker ved blodets transport af oxygen. Hvert hæmoglobinmolekyle indeholder fire jern(II)ioner. De er bundet komplekst til hæmoglobinmolekylet som vist på figur 47.

Oxygen transporteres med blodet komplekst bundet til  $\text{Fe}^{2+}$  som vist på figuren. Der er tale om en ret svag kompleksbinding, således at blodet let kan afgive oxygen til organismens celler.

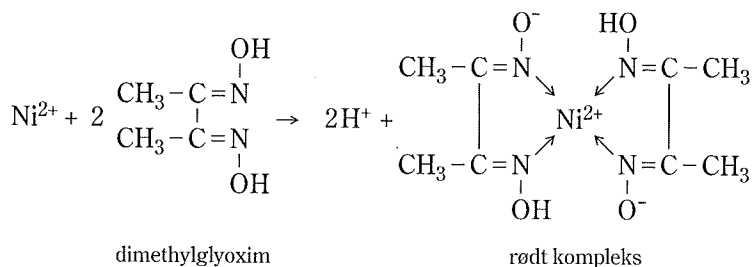
Carbonmonoxid (CO) danner en noget stærkere kompleksbinding til  $\text{Fe}^{2+}$ , og derfor er carbonmonoxid giftigt.



**Figur 47.** Et udsnit af et hæmoglobinmolekyle.  $\text{O}_2$  bindes med en kompleksbinding til  $\text{Fe}^{2+}$ .

## Påvisning af nikkellioner

$\text{Ni}^{2+}$  danner et karakteristisk rødt kompleks med et stof, som kaldes dimethylglyoxim:





**Figur 48.** Man løber en risiko for at pådrage sig nikkelallergi, hvis man bærer nikkelholdige smykker i kontakt med huden.

Bemærk, at komplekset er uladet. Når man skal lave reaktionen, gør man først den  $\text{Ni}^{2+}$ -holdige opløsning basisk ved tilsætning af lidt fort. ammoniakvand, hvorefter der tilsættes en 1% opløsning af dimethylglyoxim i ethanol.

Reaktionen er specifik for  $\text{Ni}^{2+}$ , og den er meget følsom. Den er derfor velegnet som påvisningsreaktion for  $\text{Ni}^{2+}$ . Man bruger den bl.a. til at undersøge, om metalgenstande afgiver nikkelforbindelser.

Nogle nikkelholdige metallegeringer kan korrodere i overfladen, hvorved små mængder nikkel omdannes til nikkelforbindelser, dvs. Ni omdannes til  $\text{Ni}^{2+}$ . Hvis metalgenstanden (f.eks. et ur, et smykke eller en bukseknap) er i kontakt med huden, kan der afgives »nikkel« ( $\text{Ni}^{2+}$ -forbindelser) til huden, og det kan fremkalde nikkelallergi. Man mener, at 10-15% af kvinderne i den voksne danske befolkning lider af nikkelallergi, hvorimod kun ca. 1% af mændene er allergiske over for nikkel.

Nikkel er et billigt metal til fremstilling af smykker. F.eks. er der solgt mange smykker, der er lavet af nysølv. Det er en legering, som indeholder 64% kobber, 24% zink og 12% nikkel. Problemet er, at nysølv er slemt til at afgive nikkel.

Der er udstedt en bekendtgørelse, som forbyder producenter og importører at sælge nikkelholdige smykker, knapper og lynlåse. Men det vil være letsindigt at tro, at der kun sælges nikkelfri smykker på gader og stræder.

Man kan påvise nikkelafrigivelse ved en såkaldt dryptest. En dråbe fort. ammoniakvand og en dråbe 1% dimethylglyoxim-opløsning placeres på metalgenstanden, hvorefter der gnides med en vatpind. Rødfarvning af vatpinden viser, at metallet afgiver  $\text{Ni}^{2+}$ . Prøv først med en nikkelholdig mønt (1, 2 eller 5 kr). Disse mønter er lavet af en legering, som indeholder 75% kobber og 25% nikkel.

---

**Opgave 79.** Man ser en blåfarvning, når man tilsætter ammoniak til en opløsning, der indeholder  $\text{Ni}^{2+}$ . Farven skyldes dannelse af hexaamminnikkel(II)ioner. Skriv reaktionskemaet for denne kompleksdannelse.

---