# Qualitatives Grundpraktikum

## *Spezifische Nachweise der Anionen*

**$F^-$:** Ätzprobe

$2\ F^- + H_2SO_4 \rightarrow SO_4^{2-} + 2\ HF\uparrow$
$4\ HF + SiO_2 \rightarrow SiF_4\uparrow + 2\ H_2O$ Störung: viel $SiO_3$, $H_3BO_3$

Wassertropfenprobe

$4\ F^- + SiO_3^{2-} + 6\ H^+ \rightarrow 3\ H_2O + SiF_4\uparrow$
$SiF_4 + 2\ HF \rightarrow H_2[SiF_6]$ *(bildet sich nur zeitweise)*
$SiF_4 + 2\ H_2O \rightarrow SiO_2\downarrow + 4\ HF$ Störung: komplexe $F^-$, $H_3BO_3$, $S_2O_3^{2-}$
*weißer NS*

**$Cl^-$:** durch $Ag_3[Fe(CN)_6]$



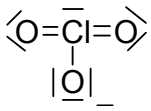
$AgCl + 2\ NH_3 \rightarrow [Ag(NH_3)_2]^+ + Cl^-$
$3\ [Ag(NH_3)_2]^+ + [Fe(CN)_6]^{3-} \rightarrow Ag_3[Fe(CN)_6]\downarrow + 6\ NH_3$
*braune Schicht*

durch $[Ag(NH_3)_2]^+$

*geringe Konzentration $NH_3$ in Ammoniumcarbonat*: $NH_4^+ + CO_3^{2-} \rightleftharpoons NH_3 + HCO_3^-$

$AgCl + 2\ NH_3 \rightarrow [Ag(NH_3)_2]^+ + Cl^-$ Störung: $Br^-$ stört <u>nicht</u>
*löst sich in $(NH_4)_2CO_3$-Lsg.*

**$ClO_3^-$:** als $ClO_2$

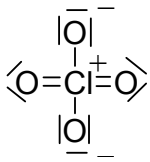


$6\ ClO_3^- + 6\ H^+ \rightarrow 4\ ClO_2\uparrow + 2\ HClO_4 + 2\ H_2O$
$4\ ClO_2 \rightarrow 2Cl_2 + 4\ O_2$
*zerfällt explosionsartig beim Erwärmen*

Reduktion zu $Cl^-$

$ClO_3^- + 3\ NO_2^- \rightarrow Cl^- + 3\ NO_3^-$ *mit $Ag^+$ fällen* Störung: alle mit $Ag^+$ fällbaren $A^-$
*weißer NS*

**$ClO_4^-$:** als $KClO_4$



$ClO_4^- + K^+ \rightarrow KClO_4\downarrow$ *weißer NS, rhombische Kristalle*

Reduktion zu $Cl^-$

$ClO_4^- + 8\ Fe(OH)_2 + 4\ H_2O \rightarrow Cl^- + 8\ Fe(OH)_3$ *mit $Ag^+$ fällen* Störung: s.o. + $ClO_3^-$
*vgl. Chlorat*



© m.demele@web.de
*Verbesserungsvorschläge sind sehr erwünscht*

**$Br^-$:** durch braune Dämpfe

$2\ Br^- + H_2SO_4 + 2\ H^+ \rightarrow Br_2\uparrow + SO_2\uparrow + 2\ H_2O$ (bei Hitze)

Störung: $NO_x$, $I^-$

mit Chlorwasser

$2\ Br^- + Cl_2 \rightarrow Br_2 + 2\ Cl^-$ $Br_2 + Cl_2 \rightarrow 2\ BrCl$

Störung: Reduktionsmittel

*erst braun, dann gelb*

**$I^-$:** durch violette Dämpfe

$2\ I^- + H_2SO_4 + 2\ H^+ \rightarrow I_2\uparrow + SO_2\uparrow + 2\ H_2O$

mit Chlorwasser

$2\ I^- + Cl_2 \rightarrow I_2 + 2\ Cl^-$
$I_2 + 5\ Cl_2 + 6\ H_2O \rightarrow 10\ HCl + 2\ HIO_3$
$I_2 + 3\ Cl_2 \rightarrow 2\ ICl_3$

Störung: Reduktionsmittel

*erst violett, dann farblos*

**$S^{2-}$:** mit Bleiacetat-Papier

$H_2S + Pb^{2+} \rightarrow PbS\downarrow + 2H^+$
*schwarze Färbung*

mit Cadmiumacetat

$S^{2-} + Cd^{2+} \rightarrow CdS\downarrow$
*leuchtend gelber NS*

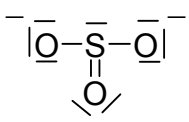
durch Iod-Azid-Reaktion

$S^{2-} + I_2 \rightarrow S + 2\ I^-$
$S + 2\ N_3^- \rightarrow S^{2-} + 3\ N_2\uparrow$

Störung: $S_2O_3^{2-}$, $SCN^-$

*Gasentwicklung und Entfärbung*

**$SO_3^{2-}$:** als $Zn_2[Fe(CN)_5NOSO_3]$



$SO_3^{2-} + [Fe(CN)_5NO]^{2-} + 2\ Zn^{2+} \rightarrow Zn_2[Fe(CN)_5NOSO_3]$
*roter NS*

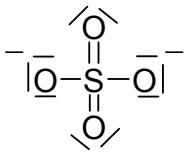
als Oxymethansulfonsäure

$SO_3^{2-} + HCHO + H_2O \rightarrow HCH(OH)(SO_3)^- + OH^-$
*Nachweis der $OH^-$-Ionen durch Indikator*



© m.demele@web.de
*Verbesserungsvorschläge sind sehr erwünscht*

**$SO_4^{2-}$:** als $BaSO_4$

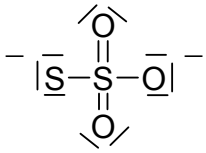


$SO_4^{2-} + Ba^{2+} \rightarrow BaSO_4\downarrow$ Störung: $F^-$
*weißer, kristalliner NS*

$BaSO_4$-$KMnO_4$-Mischkristalle

*Bariumsulfat bildet mit Permanganat rotviolette Kristalle.*

**$S_2O_3^{2-}$:** durch Sonnenuntergang

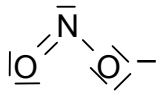


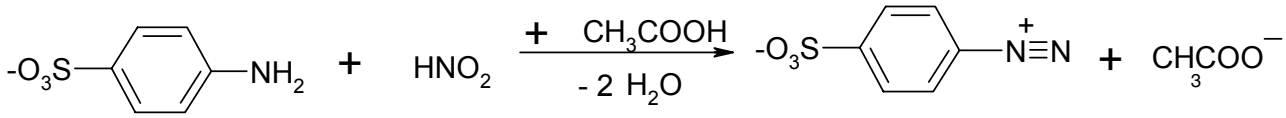
$S_2O_3^{2-} + 2Ag^+ \rightarrow Ag_2S_2O_3\downarrow$
$Ag_2S_2O_3 + H_2O \rightarrow Ag_2S\downarrow + H_2SO_4$ Störung: $S^{2-}$
*weiß, gelb, orange, braun, schwarz*

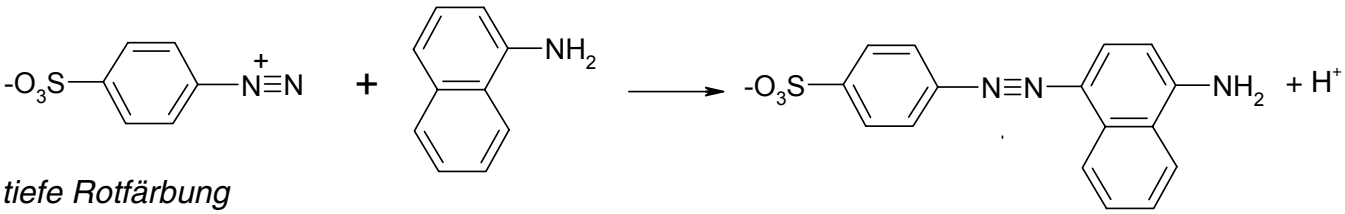
durch Schwefelentwicklung

$H_2S_2O_3 \rightarrow S\downarrow + SO_2\uparrow + H_2O$ Störung: $S^{2-}$, $SO_3^{2-}$

**$NO_2^-$:** mit Lunges-Reagenz





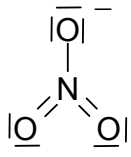




*tiefe Rotfärbung*

durch Stickoxide

$2\ HNO_2 \rightarrow H_2O + N_2O_3 \rightarrow H_2O + NO\uparrow + NO_2\uparrow$
$3\ HNO_2 \rightarrow H_3O^+ + NO_3^- + 2\ NO\uparrow$ Störung: $I^-$, $Br^-$
*braunes Gas*

**$NO_3^-$:** Ringprobe



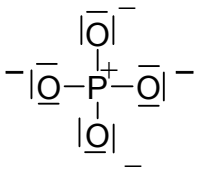
$NO_3^- + 3\ Fe^{2+} + 4\ H^+ \rightarrow 3\ Fe^{3+} + NO + 2\ H_2O$
$NO + [Fe(H_2O)_6]^{2+} \rightarrow [Fe(H_2O)_5NO]^{2+} + H_2O$ Störung: $NO_2^-$
*braune bis amethystfarbene Ringe*

mit Lunges-Reagenz

$NO_3^- + Zn + 2\ H^+ \rightarrow NO_2^- + Zn^{2+} + H_2O$ Störung: $NO_2^-$
*s.o.*



© m.demele@web.de
*Verbesserungsvorschläge sind sehr erwünscht*

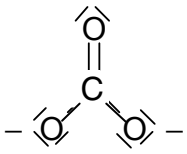


**$PO_4^{3-}$:** als $Zr_3(PO_4)_4$

$3\ Zr^{4+} + 4\ PO_4^{3-} \rightarrow Zr_3(PO_4)_4\downarrow$
*weißer, flockiger NS*

als Ammoniummolybdophosphat

$HPO_4^{2-} + 23\ H^+ + 3\ NH_4^+ + 12\ MoO_4^{2-} \rightarrow (NH_4)_3[P(Mo_3O_{10})_4 \cdot aq]\downarrow + 12\ H_2O$
*gelber NS*

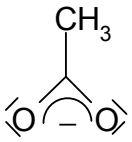


**$CO_3^{2-}$:** durch Kohlendioxid

$CO_3^{2-} + 2\ H^+ \rightarrow H_2O + CO_2\uparrow$
$CO_2 + Ba(OH)_2 \rightarrow BaCO_3 + H_2O$ Störung: $SO_3^{2-}$, $S_2O_3^{2-}$
*weiße Trübung*

Entfärben einer $Na_2CO_3$-haltigen Phenolphthaleinlsg.

$CO_2 + CO_3^{2-} + H_2O \rightarrow 2\ HCO_3^-$

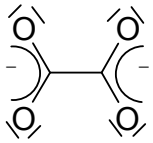


**$CH_3COO^-$:** am Essigsäure-Geruch

$CH_3COO^- + HSO_4^- \rightarrow CH_3COOH + SO_4^{2-}$ Störung: $SO_3^{2-}$

am Essigsäureethylester-Geruch

$CH_3COOH + HOC_2H_5 \rightarrow CH_3COOC_2H_5 + H_2O$ Störung: s. o.
*unter Zugabe von konz. $H_2SO_4$*



**$C_2O_4^{2-}$:** durch Oxidation zu $CO_2$

$5\ C_2O_4^{2-} + 2\ MnO_4^- + 16\ H^+ \rightarrow 2\ Mn^{2+} + 10\ CO_2\uparrow + 8\ H_2O$ Störung: Reduktionsmittel
*Entfärbung*

als $CaC_2O_4$

$C_2O_4^{2-} + Ca^{2+} \rightarrow CaC_2O_4\downarrow$ Störung: $F^-$, $SO_3^{2-}$, $SO_4^{2-}$, $PO_4^{3-}$
*weißer NS*



© m.demele@web.de
*Verbesserungsvorschläge sind sehr erwünscht*

**$CN^-$:** als AgCN $^-|C{\equiv}N|$

$CN^- + Ag^+ \rightarrow AgCN\downarrow$ Störung: lediglich $Hg(CN)_2$, denn HCN wird als Gas eingeleitet
*weißer NS*

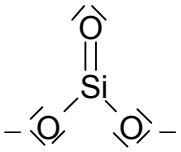
als Berliner Blau

$6\ CN^- + Fe(OH)_2 \rightarrow [Fe(CN)_6]^{4-} + 2\ OH^-$ Störung: $SCN^-$
$4\ Fe^{3+} + 3\ [Fe(CN)_6]^{4-} \rightarrow Fe_4[Fe(CN)_6]_3\downarrow$
*blauer NS*

**$SCN^-$:** als $Fe(SCN)_3$ $^{-}\,^{-}|S\text{-}C{\equiv}N|$

$Fe^{3+} + 3\ SCN^- \rightleftarrows Fe(SCN)_3$ Störung: $F^-$, $PO_4^{3-}$, $C_2O_4^{2-}$, $NO_2^-$, $I^-$
*tiefe Rotfärbung*

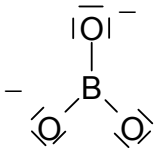
**$SiO_3^{2-}$:** Wassertropfenprobe



$2\ F^- + 2\ H^+ \rightarrow 2\ HF$
$SiO_3^{2-} + 4\ HF + 2\ H^+ \rightarrow SiF_4\uparrow + 3\ H_2O$
$SiF_4 + 2\ HF \rightarrow H_2[SiF_6]$ *(bildet sich nur zeitweise)*
$SiF_4 + 2\ H_2O \rightarrow SiO_2\downarrow + 4\ HF$ Störung: $BO_3^{3-}$
*weißer NS*

Molybdokieselsäure

$H_4SiO_4 + 12\ MoO_2^{2+} + 12\ H_2O \rightarrow H_4[Si(Mo_3O_{10})_4] + 24\ H^+$ Störung: $PO_4^{3-}$
*gelbe NS*



**$BO_3^{3-}$:** Borsäuremethylester

$H_3BO_3 + 3\ CH_3OH \xrightarrow{\text{konz. } H_2SO_4} B(OCH_3)_3\uparrow + 3\ H_2O$ Störung: $Ba^{2+}$, $Br^-$, $I^-$
*brennt grün*

***Spezifische Nachweise der Kationen***

**Lithium:** *670, rot; 610, gelb-orange*
als Carbonat

$Li^+ + CO_3^- \rightarrow LiCO_3\downarrow$ Störung: Erdalkalimetalle
*weißer Niederschlag*

als Phosphat

$3\ Li^+ + PO_4^{3-} \rightarrow Li_3PO_4\downarrow$
*weißer Niederschlag*



© m.demele@web.de
*Verbesserungsvorschläge sind sehr erwünscht*

**Natrium:** *589, gelb*

als Hexahydroxoantimonat

$Na^+ + [Sb(OH)_6]^- \rightarrow Na[Sb(OH)_6] \downarrow$ (amorph)

*weißer Niederschlag*

Störung: $Li^+$ (kristallin), Erdalkali

**Kalium:** *768, rot; 404, violett*

als Perchlorat

$K^+ + ClO_4^- \rightarrow KClO_4$

*feiner, kristalliner Niederschlag*

Störung: Ni, Co im Ammoniakalischen

als Hexanitrocobaltat

$2\ K^+ + Na^+ + [Co(NO_2)_6]^{3-} \rightarrow K_2Na[Co(NO_2)_6] \downarrow$

*gelb-oranger Niederschlag*

Störung: $NH_4^+$ (Ionenradius wie $K^+$)

mit Kalignost (Natriumtetraphenylborat)

$K^+ + Na[B(C_6H_5)_4] \rightarrow K[B(C_6H_5)_4]\downarrow + Na^+$

*weißer, grobkörniger Niederschlag im neutralen oder essigsauren*

**Ammonium:**

durch Ammoniakdämpfe

$NH_4^+ + OH^- \rightarrow NH_3\uparrow + H_2O$ oder $2\ NH_4^+ + MgO \rightarrow 2\ NH_3\uparrow + H_2O + Mg^{2+}$

durch Stickstoffentwicklung

$NH_4^+ + NO_2^- \rightarrow NH_4NO_2 \rightarrow N_2\uparrow + 2\ H_2O$

*brennender Span erlischt*

mit Neßler's Reagenz

$HgI_2 + 2\ KI \rightarrow K_2HgI_4$

$NH_3 + 2\ [HgI_4]^{2-} + 3\ OH^- \rightarrow [Hg_2N]I \cdot H_2O + 2\ H_2O + 7\ I^-$

*gelbbraune Lösung*

**Magnesium:**

als Magnesiumammoniumphosphat

$Mg^{2+} + HPO_4^{2-} + NH_4^+ + OH^- + 5\ H_2O \rightleftarrows Mg(NH_4)PO_4 \cdot 6H_2O \downarrow$

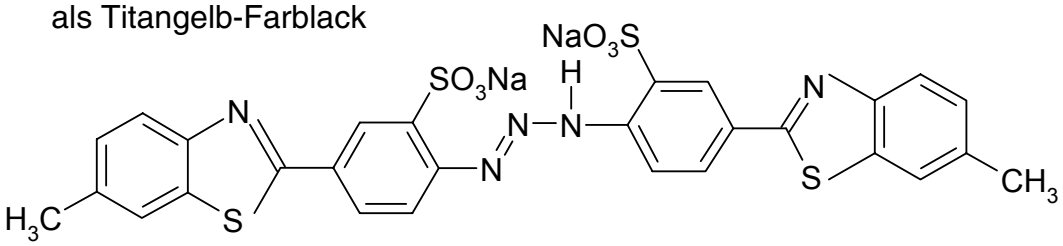
*weißer, kristalliner Niederschlag*

Störung: Ca, Sr, Ba (mikrokristallin)



© m.demele@web.de
*Verbesserungsvorschläge sind sehr erwünscht*

als Titangelb-Farblack

$Mg^{2+}$ + 


*hellroter Niederschlag* Störung: $Ni^{2+}$, $Zn^{2+}$, $Mn^{2+}$, $Co^{2+}$

**Calcium:** *622, rot; 553, grün*

als Oxalat

$Ca^{2+} + C_2O_4^{2-} \rightarrow CaC_2O_4\downarrow$ Störung: $Sr^{2+}$, $Ba^{2+}$,
*weißer, kristalliner NS*

als Gipsnadeln

$Ca^{2+} + SO_4^{2-} + 2\ H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O\downarrow$ Störung: $Sr^{2+}$, $Ba^{2+}$ (bilden feinere Kristalle)
*weißer, kristalliner NS*

**Strontium:** *650- 600, rot*

als Chromat

$Sr^{2+} + CrO_4^{2-} \rightarrow SrCrO_4\downarrow$ Störung: $Ca^{2+}$ (quadratisch), $Ba^{2+}$
*gelber, kristalliner NS (hexagonal)*

als Iodatkristalle

$Sr^{2+} + 2\ IO_3^- + 6\ H_2O \rightarrow Sr(IO_3)_2 \cdot 6H_2O\downarrow$ Störung: $Ca^{2+}$ (amorph), $Ba^{2+}$
*kristalliner NS (gebogene Nadeln)*

**Barium:** *524 und 514, grün*

als Chlorid

$Ba^{2+} + 2\ Cl^- \rightarrow BaCl_2\downarrow$
*weißer, kristalliner NS; in Ether/Ethanol schwer löslich, im Gegensatz zu Ca, Sr*

als Chromat

$Ba^{2+} + CrO_4^{2-} \rightarrow BaCrO_4\downarrow$ oder $2\ Ba^{2+} + Cr_2O_7^{2-} + H_2O \rightleftharpoons 2\ BaCrO_4\downarrow + 2\ H^+$
*gelber, kristalliner NS (hexagonal)*

Störung: $Sr^{2+}$, ist aber in HOAc löslich

**Eisen:**

als Berliner Blau

$K^+ + \overset{+III}{Fe^{3+}} + [\overset{+II}{Fe}(CN)_6]^{4-} \rightarrow K[FeFe(CN)_6]$ lösliches
$4\ Fe^{3+} + 3\ [Fe(CN)_6]^{4-} \rightarrow Fe_4[Fe(CN)_6]_3\downarrow$ unlösliches
*tief blauer NS*



© m.demele@web.de
*Verbesserungsvorschläge sind sehr erwünscht*

als Thiocyanat

$Fe^{3+} + 3\ SCN^{-} \rightleftarrows Fe(SCN)_3$ Störung: $Co^{2+}$
*tief rote Färbung*

durch Ringprobe

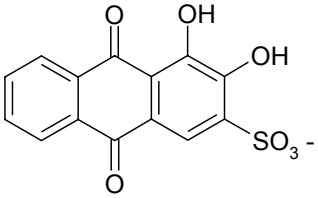
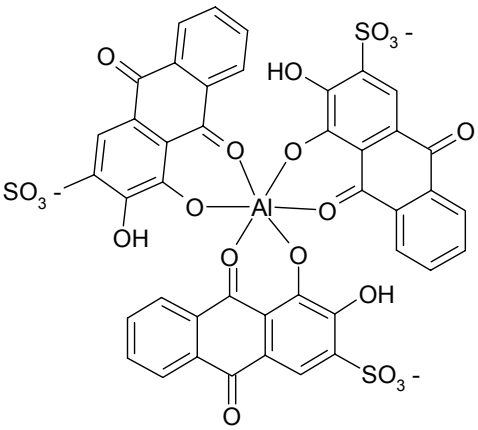
$3\ Fe^{2+} + NO_3^{-} + 4\ H_3O^{+} \rightarrow 3\ Fe^{3+} + NO + 5\ H_2O$
$Fe^{2+} + NO + 5\ H_2O \rightarrow [Fe(NO)(H_2O)_5]^{2+}$
*rot-brauner Komplex*

**Aluminium:**

als Thénards Blau

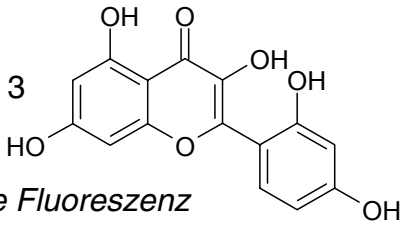
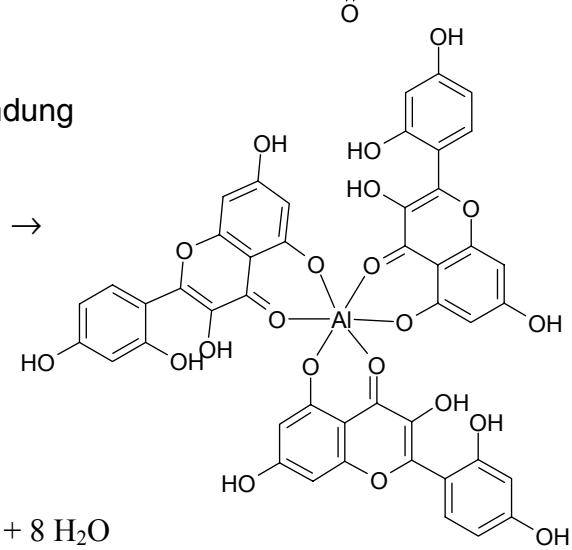
$Al_2O_3 + Co(NO_3)_2 \rightarrow 2\ NO_2 + ½\ O_2 + CoAl_2O_4$

als Alizarin S - Farblack

$Al(OH)_3 + 3$  $\rightarrow$  $+ 3\ H_2O$

*roter NS* Störung: Fe, Cr, Ti

als Morin-Komplexverbindung

$Al^{3+} + 3$  $\rightarrow$  $+ 3\ H^{+}$

*grüne Fluoreszenz*

**Chrom:**

durch Oxidationen

$2\ Cr^{3+} + 3\ H_2O_2 + 10\ OH^{-} \rightarrow 2\ CrO_4^{2-} + 8\ H_2O$
*Gelbfärbung*

$2\ Cr^{3+} + 3\ S_2O_8^{2-} + 7\ H_2O \rightarrow Cr_2O_7^{2-} + 6\ SO_4^{2-} + 14\ H^{+}$
*Orangefärbung*

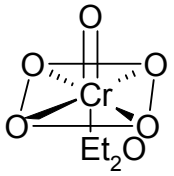
$Cr_2O_3 + 3\ NO_3^{-} + 2\ CO_3^{2-} \rightarrow 2\ CrO_4^{2-} + 3\ NO_2^{-} + 2\ CO_2\uparrow$ Störung: Mn
*gelber Schmelzkuchen*



© m.demele@web.de
*Verbesserungsvorschläge sind sehr erwünscht*

als Cromperoxid

$Cr_2O_7^{2-} + 4\ H_2O_2 + 2\ H^+ \rightarrow 2\ CrO(O_2)_2 + 5\ H_2O$
*Blaufärbung in Ether ausschüttelbar*

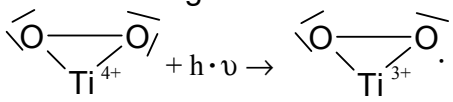



$4\ CrO(O_2)_2 + 12\ H^+ \rightarrow 4\ Cr^{3+} + 6\ H_2O + 7\ O_2$
*Grün- oder Violettfärbung*

**Titan:**

als Peroxotitan-Kation

$[TiO]^{2+} + SO_4^{2-} + H_2O_2 + H_2SO_4 + H_2O \rightarrow [Ti(O_2)(SO_4)_2]^{2-} + 2\ H_3O^+$ Gelbfärbung durch LMCT:
*gelb bis gelborange Färbung*

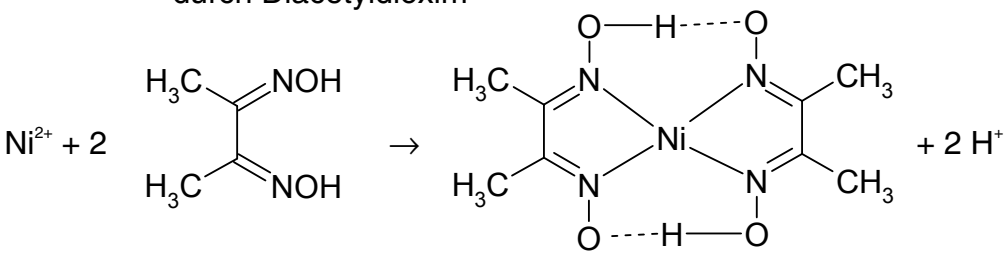



durch Zugabe von Zink und Salzsäure

$[TiO]^{2+} + H_{nasc.} + H_3O^+ + 4\ H_2O \rightarrow [Ti(H_2O)_6]^{3+}$
*Rotviolettfärbung*

**Nickel:**

durch Diacetyldioxim




*rote Färbung* Störung: $Fe^{3+}$, $Co^{2+}$ (braunrot), $Cu^{2+}$ (violett)

durch Umsetzung mit Cyanid und NaOH+($Br_2$-Wasser)

$Ni^{2+} + 2\ CN^- \rightarrow Ni(CN)_2\downarrow$ *hellgrüner NS*
$Ni(CN)_2 + 2\ CN^- \rightleftarrows [Ni(CN)_4]^{2-}$ *im Überschuss Lösung unter gelber Färbung*
$2\ [Ni(CN)_4]^{2-} + 6\ OH^- + 9\ Br_2 \rightarrow 2\ Ni(OH)_3\downarrow + 10\ Br^- + 8\ BrCN$
*schwarzer NS, Unterschied zu $Co^{2+}$*

**Cobalt:**

als Thiocyanat

$Co^{2+} + 2\ SCN^- \rightleftarrows Co(SCN)_2$
$Co^{2+} + 4\ SCN^- + 2\ H^+ \rightleftarrows H_2[Co(SCN)_4]$ Störung: $Fe^{3+}$
*blaue Färbung, in Amylalkohol/Ether ausschüttelbar*

als Kaliumhexanitrocobaltat

$3K^+ + Co^{2+} + 7\ NO_2^- + 2\ H^+ \rightarrow K_3[Co(NO_2)_6]\downarrow + NO\uparrow + H_2O$
*gelber, kristalliner NS*



© m.demele@web.de
*Verbesserungsvorschläge sind sehr erwünscht*

als Thiocyanatomercurat

$Co^{2+} + [Hg(SCN)_4]^{2-} \rightarrow Co[Hg(SCN)_4]\downarrow$ Störung: $Fe^{3+}$
*tiefblaue Kristalle*

**Mangan:**

durch Oxidationsschmelze

$Mn^{2+} + 2\ NO_3^- + 2\ CO_3^{2-} \rightarrow MnO_4^{2-} + 2\ NO_2^- + 2\ CO_2\uparrow$
$Mn^{2+} + 4\ NO_2^- \rightarrow MnO_4^{2-} + 4\ NO\uparrow$
$3\ MnO_4^{2-} + 4\ H^+ \rightarrow 2\ MnO_4^- + MnO_2\downarrow + 2\ H_2O$
*grüner Schmelzkuchen, der beim Ansäuern in Permanganat und Braunstein übergeht*

als Permanganat

$2\ Mn^{2+} + 5\ S_2O_8^{2-} + 8\ H_2O_2 \rightarrow 2\ MnO_4^- + 10\ SO_4^{2-} + 16\ H^+$
$2\ Mn^{2+} + 5\ PbO_2 + 4\ H^+ \rightarrow 2\ MnO_4^- \rightarrow 5\ Pb^{2+} + 2\ H_2O$ Störung: Reduktionsmittel
*violettrote Färbung*

**Zink:**

durch Hexacyanoferrate

$3\ Zn^{2+} + 2\ K^+ + 2\ [Fe(CN)_6]^{4-} \rightarrow K_2Zn_3[Fe(CN)_6]_2\downarrow$
*schmutzig weißer NS*

$3\ Zn^{2+} + 2\ [Fe(CN)_6]^{3-} \rightarrow Zn_3[Fe(CN)_6]_2\downarrow$ Störung: $Fe^{3+}$
*braungelber NS*

als Rinnmanns Grün

$ZnO + 2\ Co(NO_3)_2 \rightarrow ZnCo_2O_4 + 4\ NO_2\uparrow + ½\ O_2$ Störung: $BO_3^{3-}$
*Grünfärbung*

als Thiocyanatmercurat

$Zn^{2+} + [Hg(SCN)_4]^{2-} \rightarrow Zn[Hg(SCN)_4]\downarrow$ Störung: $Fe^{3+}$, $Co^{2+}$
*farblose Kristalle*

**Quecksilber:**

als Chromat

$Hg_2^{2+} + CrO_4^{2-} \rightarrow Hg_2CrO_4\downarrow$ Störung: $Ba^{2+}$, $Sr^{2+}$ (beide gelb)
*roter NS*

durch Reduktion

$2\ HgCl_2 + Sn^{2+} + 4\ Cl^- \rightarrow Hg_2Cl_2\downarrow + [SnCl_6]^{2-}$
$Hg_2Cl_2 + Sn^{2+} + 4\ Cl^- \rightarrow 2\ Hg\downarrow + [SnCl_6]^{2-}$
*erst weißer NS, dann Graufärbung*


© m.demele@web.de
Verbesserungsvorschläge sind sehr erwünscht

als Hg(II)-Reineckat

$Hg^{2+} + 2\ [Cr(SCN)_4(NH_3)_2]^- \rightarrow Hg[Cr(SCN)_4(NH_3)_2]_2\downarrow$ Störung: $Ag^+$, $Cu^+$, $Pb^{2+}$
*rosaroter NS*

**Blei:**

als $K_2CuPb(NO_2)_6$

$2\ K^+ + Cu^{2+} + Pb^{2+} + 6\ NO_2^- \rightarrow K_2CuPb(NO_2)_6\downarrow$
*schwarze würfelförmige Kristalle*

**Kupfer:**

als Thiocyanatomercurat

$Cu^{2+} + [Hg(SCN)_4]^{2-} \rightarrow Cu[Hg(SCN)_4]\downarrow$ Störung: $Fe^{2+}$, $Co^{2+}$, mit $Zn^{2+}$
*gelbgrüner, kristalliner NS* violette bis schwarze Mischkristalle

als Reincke-Salz

$Cu^+ + [Cr(SCN)_4(NH_3)_2]^- \rightarrow Cu[Cr(SCN)_4(NH_3)_2]\downarrow$ Störung: $Hg^{2+}$, $Ag^+$, $Pb^{2+}$
*gelber NS*

durch Iodidfällung

$2\ Cu^{2+} + 4\ I^- \rightarrow 2\ CuI\downarrow + I_2$
*weißer Niederschlag in brauner Lösung*

**Bismut:**

als Dimehtyldioxim-Komplex

$$2\ Bi^{3+} + \begin{array}{c} H_3C\text{-}C{=}NOH \\ | \\ H_3C\text{-}C{=}NOH \end{array} + 2\ H_2O \rightarrow \begin{array}{c} H_3C\text{-}C{=}N\text{-}O\text{-}Bi{=}O \\ | \\ H_3C\text{-}C{=}N\text{-}O\text{-}Bi{=}O \end{array} \downarrow + 6\ H^+$$

Störung: As, Sb, Sn, Ni, Co, Fe, Mn, Cu, Cd

*intensiv gelber, voluminöser NS*

als Iodid-Komplex

$Bi^{3+} + 3\ I^- \rightarrow BiI_3\downarrow$ $\quad BiI_3 + I^- \rightleftharpoons [BiI_4]^-$
*schwarzer NS, der sich unter Oranggelbfärbung im Überschuss löst*

**Cadmium:**

als Cadmiumthioharnstoffreineckat

$Cd^{2+} + 2\ SC(NH_2)_2 + 2\ [Cr(SCN)_4(NH_3)_2]^- \rightarrow [Cd\{SC(NH_2)_2\}_2]\cdot[Cr(SCN)_4(NH_3)_2]_2$
*farblose prismatische Stäbchen-Kristalle*



© m.demele@web.de
*Verbesserungsvorschläge sind sehr erwünscht*

als Sulfid

$Cd^{2+} + S^{2-} \rightarrow CdS\downarrow$
*leuchtende Gelbfärbung*

**Antimon:**

als Molybdänblau

Sb(III) reduziert Molydophosphorsäure $H_3[P(Mo_3O_{10})_4 \cdot aq]$ zu Molybdänblau $MoO_nO_{3n-1}$ o.a. $MoO_{3-x}(OH)_x$

als Natriumhexahydroxoantimonat

$Na^+ + [Sb(OH)_6]^- \rightarrow Na[Sb(OH)_6]\downarrow$
*weißer, körnig kristalliner NS*

**Arsen:**

durch Marsh'sche Probe

$As_2O_3 + 6\ Zn + 12\ H^+ \rightarrow 2\ AsH_3\uparrow + 6\ Zn^{2+} + 3\ H_2O$
$4\ AsH_3 + 3\ O_2 \rightarrow 4\ As\downarrow + 6\ H_2O$
$2\ As + 5\ H_2O_2 + 6\ NH_3 \rightarrow 2\ AsO_4^{3-} + 6\ NH_4^+ + 2\ H_2O$
*Gas brennt mit blauer Flamme, Arsen scheidet sich schwarz an Porzellan ab, Arsen lässt sich ammoniakalischen in $H_2O_2$ lösen, im Gegensatz zu Sb*

durch Bettendorf'sche Probe

$2\ AsO_4^{3-} + 5\ Sn^{2+} + 30\ Cl^- + 16\ H^+ \rightarrow 2\ As + 5\ [SnCl_6]^{2-} + 8\ H_2O$
*schwarzer Niederschlag*

als Silberarsenit oder -arsenat

$3\ Ag^+ + AsO_3^{3-} \rightarrow Ag_3AsO_3\downarrow$ oder $3\ Ag^+ + AsO_4^{3-} \rightarrow Ag_3AsO_4\downarrow$
*gelber oder schokoladenbrauner NS*

als Ammoniummolybdoarsenat

$H_2AsO_4^- + 3\ NH_4^+ + 12\ MoO_2^{2+} + 12\ H_2O \rightarrow (NH_4)_3[As(Mo_3O_{10})_4 \cdot aq]\downarrow + 26\ H^+$
*gelber, kristalliner NS*

**Zinn:**

durch Cassius'scher Goldpurpur

$3\ Sn^{2+} + 2[AuCl_4]^- + 6\ H_2O \rightarrow 2\ Au\downarrow + 3\ SnO_2\downarrow + 12\ H^+ + 8\ Cl^-$
*purpurrote bis braune Färbung*

durch Leuchtprobe

$SnO_2 + Zn + 2\ Cl^- + 4\ H^+ \rightarrow SnCl_2 + Zn^{2+} + 2\ H_2O$
*$SnCl_2$ fluoresziert blau beim erhitzen*



© m.demele@web.de
*Verbesserungsvorschläge sind sehr erwünscht*

## Silber

als Silberspiegel

$2\ Ag^+ + HCHO + H_2O \rightarrow 2\ Ag\downarrow + HCOOH + 2\ H^+$
*Silberner Spiegel am Reagenzglas*

als Silberchromat

$2\ Ag^+ + CrO_4^{2-} \rightarrow Ag_2CrO_4\downarrow$ Störung: $Hg_{(2)}^{2+}$, $Ca^{2+}$, $Ba^{2+}$, $Sr^{2+}$
*rotbrauner NS*

als Silberchlorid

$Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl\downarrow$ $AgCl + 2\ NH_3 \rightarrow [Ag(NH_3)_2]^+ + Cl^-$
*weißer NS, löslich in Ammoniak*

### *Der Kationentrennungsgang*

## Die säureschwerlösliche Gruppe

Nach dem Lösen in konz. $HNO_3$ wird versucht in Königswasser zu lösen, es verbleiben dann folgende Verbindungen als Rückstand:

- Erdalkalisulfate wie $BaSO_4$ — Soda-Pottasche-Aufschluss
- Silicate — | |
- Hochgeglühte Oxide wie $Al_2O_3$ — | |
  - $Fe_2O_3$ — Saurer Aufschluss
  - $TiO_2$ — | |
  - $SnO_2$ — Freiberger Aufschluss
  - $Cr_2O_3$ — Oxidationsschmelze
  - $FeCr_2O_4$ — | |

Aufschlüsse:

Soda-Pottasche

$$BaSO_4 + Na_2CO_3 \rightleftarrows BaCO_3 + Na_2SO_4$$
$$Al_2O_3 + Na_2CO_3 \rightarrow 2\ NaAlO_2 + CO_2\uparrow$$

Saurer

$$Fe_2O_3 + 6\ KHSO_4 \rightarrow Fe_2(SO_4)_3 + 3\ K_2SO_4 + 3\ H_2O\uparrow$$

Oxidationsschmelze

$$2\ FeCr_2O_4 + 4\ K_2CO_3 + 7\ NaNO_3 \rightarrow Fe_2O_3 + 4\ K_2CrO_4 + 7\ NaNO_2 + 4\ CO_2\uparrow$$

Freiberger

$$2\ SnO_2 + 2\ Na_2CO_3 + 9\ S \rightarrow 2\ Na_2SnS_3 + 3\ SO_2\uparrow + 2\ CO_2\uparrow$$

## Salzsäure-Gruppe

Mit HCl fallen $Hg_2Cl_2$, AgCl und $PbCl_2$ aus. Man behandelt den Niederschlag mit heißem Wasser, es löst sich $PbCl_2$. Der Rückstand wird mit Ammoniak versetzt, es löst sich AgCl als $[Ag(NH_3)_2]^+$. Wenn jetzt noch ein schwarzer Rückstand bleibt ist es Quecksilber.


© m.demele@web.de
Verbesserungsvorschläge sind sehr erwünscht

## Schwefelwasserstoffgruppe

Beim Einleiten von $H_2S$ fallen diese Niederschläge aus: (**fällt aus** **bleibt in Lösung**)

$HgS$ $CuS$ $Sb_2S_3$ $PbS$ $CdS$ $SnS_2$ $Bi_2S_3$ $As_2S_3$
mit $(NH_4)_2S_x$ digerieren

| | | | |
|---|---|---|---|
| $HgS$ $CuS$ $PbS$ $CdS$ $Bi_2S_3$<br>4 $^{mol}/_L$ $HNO_3$ in der Wärme zugeben | | $AsS_4^{3-}$ $SnS_3^{2-}$ $SbS_4^{3-}$<br>bis zur sauren Reaktion HCl zugeben | |
| $HgS$ | $Pb^{2+}$ $Cu^{2+}$ $Bi^{3}$ $Cd^{2+}$<br>mit $H_2SO_4$ eindampfen und $H_2SO_4$ aufnehmen | $As_2S_5$ $Sb_2S_5$ $SnS_2$<br>7 $^{mol}/_L$ HCl zugeben | |
| $PbSO_4$ | $Cu^{2+}$ $Bi^{3}$ $Cd^{2+}$<br>$NH_3$ im Überschuss | $As_2S_5$ | $Sb^{5+}$ $Sn^{4+}$<br>mit Eisen reduzieren |
| $Bi(OH)_3$ | $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ $[Cd(NH_3)_6]^{2+}$<br>KCN zugeben bis Entfärbung und $H_2S$ einleiten | | Sb | $Sn^{2+}$ |
| $CdS$ | $[Cu(CN)_4]^{3-}$ | | |

Fällung von Arsen(III)-sulfid mit Salzsäure: $2\ AsS_4^{3-} + 6\ H^+ \rightarrow As_2S_5 + 3\ H_2S\uparrow$

## Ammoniumsulfid-Gruppe

Die salzsaure Lösung der vorherigen Gruppe mit $NH_4Cl$ versetzen, ammoniakalisch machen und mit $(NH_4)_2S$ in der Wärme versetzen. Es fallen diese Niederschläge aus:

$Ni_2S_3$ $NiS$ $Co_2S_3$ $CoS$ $FeS$ $MnS$ $Cr(OH)_3$ $ZnS$ $Al(OH)_3$ $TiO_2 \cdot aq$
mit 2 $^{mol}/_L$ HCl behandeln

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $Ni_2S_3$ $NiS$<br>$Co_2S_3$ $CoS$<br>in HOAc + $H_2O_2$ lösen | $Fe^{2+}$ $Mn^{2+}$ $Cr^{3+}$ $Zn^{2+}$ $Al^{3+}$ $TiO^{+}$<br>mit $HNO_3$ oxidieren, neutralisieren, in (30 %ige NaOH)+$H_2O_2$-Lsg. einfließen lassen | | | |
| $Ni^{2+}$ $Co^{2+}$ | $Fe(OH)_3$ $MnO_2$ $TiO_2 \cdot aq$<br>in HCl lösen und kochen | $CrO_4^{2-}$ $[Zn(OH)_4]^{2-}$ $[Al(OH)_4]^{-}$<br>mit $NH_4Cl$ kochen | | |
| | $TiO^{+}$ $Fe^{3+}$ $Mn^{2+}$ | $Al(OH)_3$ | $CrO_4^{2-}$ $[Zn(NH_3)_6]^{2+}$<br>mit HOAc ansäuern und $Ba^{2+}$ zugeben | |
| | | | $BaCrO_4$ | $Zn^{2+}$ |

Lösen von Nickel- bzw. Cobaltsulfid: $Ni_2S_3 + 11\ H_2O_2 \rightarrow 2\ Ni^{2+} + 10\ H_2O + 3\ SO_4^{2-} + 2\ H^+$

Fällungsreaktionen von Co bzw. Ni mit Sulfid: $2\ CoS + ½\ O_2 + H_2O \rightarrow 2\ Co(OH)S\downarrow$

$2\ Co(OH)S + H_2S \rightarrow Co_2S_3\downarrow + 2\ H_2O$

## Ammoniumcarbonat-Gruppe

$S^{2-}$ wird mit HCl als $H_2S$ verkocht und der Rückstand mit 2 $^{mol}/_L$ HCl aufgenommen, ammoniakalisch gemacht und mit $(NH_4)_2CO_3$ gekocht. Es fallen aus:

$BaCO_3$ $SrCO_3$ $CaCO_3$
in HOAc lösen und NaAcetat zusetzen und mit $K_2Cr_2O_7$ fällen

| | | |
|---|---|---|
| $BaCrO_4$ | $Sr^{2+}$ $Ca^{2+}$<br>mit Ammoniak + $(NH_4)_2CO_3$ kochen | |
| | $SrCO_3$ $CaCO_3$<br>in 2 M HCl lösen und $(NH_4)_2SO_4$ Lösung zusetzen | |
| | $SrSO_4$ | $Ca^{2+}$ |



© m.demele@web.de
Verbesserungsvorschläge sind sehr erwünscht

## Lösliche Gruppe

Die Kationen $Na^+$, $K^+$ und $Li^+$ lassen sich Spektralanalytisch ermitteln. $Mg^{2+}$ kann am besten durch einen Titangelbfarblack bestimmt werden. Ammonium muss am Anfang durch Ammoniak-entwicklung nachgewiesen werden.

### *Themen zu Anorganischen Grundpraktikum*

## Säure-Definition nach Lewis:

Säuren sind Teilchen (mit unbesetzten Orbitalen in der Valenzelektronenschale), die unter Bildung einer kovalenten Bindung ein Elektronenpaar aufnehmen können (Elektronenpaarakzeptoren). Basen sind Teilchen, die ein freies Elektronenpaar besitzen, das zur Ausbildung einer kovalenten Bindung geeignet ist (Elektronenpaardonatoren).

Lewis-Säuren: $BF_3$, $AlH_3$, $SiF_3$, $SnCl_4$, $SO_2$, $H^+$, $Mg^{2+}$, $Al^{3+}$, $Cu^{2+}$, $Hg^+$
Lewis-Basen: $NH_3$, $PH_3$, $H_2O$, $F^-$, $Cl^-$, CO, $N_2$, NO, $CN^-$

## Harte und weiche Säuren/Basen

Reaktionen von „harten“ Säuren mit „harten“ Basen und von „weichen“ Säuren mit „weichen“ Basen führen zu stabileren Verbindungen als die Kombination „weich“-„hart“ bzw. „hart“-„weich“. Die Härte einer Säure nimmt mit abnehmender Größe, kleinerer Polarisierbarkeit und zunehmender Ladung der Säureteilchen zu:

| *Hart* | *Grenzbereich* | *Weich* |
|---|---|---|
| $H^+$, $Na^+$, $K^+$, $Be^{2+}$, $Mg^{2+}$, $Ca^{2+}$, $Al^{2+}$, $Fe^{3+}$, $Cr^{3+}$, $Ti^{4+}$, $SO_3$, $BF_3$ | $Fe^{2+}$, $Co^{2+}$, $Ni^{2+}$, $Cu^{2+}$, $Pb^{2+}$, $Zn^{2+}$, $Sn^{2+}$, $SO_2$ | $Pd^{2+}$, $Pt^{2+}$, $Cu^+$, $Ag^+$, $Au^+$, $Hg^+$, $Hg^{2+}$, $Tl^+$, $Cd^{2+}$, $BH_3$ |

Basen sind um so härter, je kleiner, weniger polarisierbar und schwerer oxidierbar die Basenteilchen sind:

| *Hart* | *Grenzbereich* | *Weich* |
|---|---|---|
| $F^-$, $OH^-$, $O_2^-$, $ClO_4^-$, $SO_4^{2-}$, $NO_3^-$, $PO_4^{3-}$, $CO_3^{2-}$, $H_2O$, $NH_3$ | $Br^-$, $NO_2^-$, $SO_3^{2-}$, $N_3^-$, $N_2$ | $H^-$, $I^-$, $CN^-$, $SCN^-$, $S^{2-}$, $S_2O_3^{2-}$, CO, $C_6H_6$ |

Zu beachten ist aber auch, dass die Löslichkeit schwerlöslicher Verbindungen von Kationen bei den gleichen Anionen innerhalb einer Gruppe ab nimmt (z.B. Sulfate der Erdalkalimetalle). Dies liegt nicht an der Härte, sondern daran dass die Hydratationsenthalpie mit zunehmender Ionengröße ab nimmt, d.h. der Radius der Hydrathülle wird kleiner.


© m.demele@web.de
*Verbesserungsvorschläge sind sehr erwünscht*

## Trends im Periodensystem (Hauptgruppen 1-2, 13-18)

| *Gruppe 1-2 (Metalle)* | *Gruppe 13-14 (Halbmetalle)* | *Gruppe 15-18 (Nichtmetalle)* |
|---|---|---|
| ΔEN klein | ΔEN mittel | ΔEN groß |
| Salzartige Oxide, Halogenide, Hydride, hoher Schmelzpkt., Ionengitter | polymere Oxide, Halogenide, kovalente Atomgitter | kovalente Bdg., Halogenide, Hydride, Flüchtigkeit, Molekül- + Atombdg. |
| *Oxide basisch* | *Oxide amphoter* | *Oxide sauer* |
| $Na_2O$, BaO | $A_2O_3$, $SnO_2$, $Bi_2O_2$ | $SiO_2$, $P_4O_{10}$, $SO_3$ $NO_2$, $Cl_2O_7$ |
| *Diese Anhydride reagieren mit Wasser zu:* | | |
| Basen $M(OH)_n$ NaOH, $Ba(OH)_2$ | Basen/Säuren $Al(OH)_3$, $Sn(OH)_4$ = Säure und Base | Oxosäuren $H_nMO_m$ $H_4SiO_4$, $H_3PO_4$, $H_2SO_4$, $HNO_{2/3}$, $HClO_4$ |
| *Halogenide basisch* | *Halogenide amphoter* | *Halogenide sauer* |
| NaCl, $BaCl_2$ Halogenid-Donor | $MgCl_2$, $AlCl_3$, $SnCl_4$ Halogenid-Donor + -Akzeptor | $BCl_5$, $PCl_5$, $SbF_5$ Halogenid-Akzeptor |
| *Hydride basisch* | *Hydride basisch/sauer* | *Hydride sauer* |
| NaH, $BaH_2$ Hydrid-Donor $H^-$ | $B_2H_5$, $SiH_4$, $NH_3$, $PH_3$ $H^-$, $H^+$ Donor/Akzeptor | $H_2O$, $H_2S$, $H_2Se$, HF, HCl, HBr, HI ($H^+$ Donor) |
| | | ↓ Acidität der H-Säuren wächst |

---

↓ Basizität wächst (bei Hptgruppenel., p-Block)

↓ Stabilität der höchsten Oxidationsstufe nimmt ab (bei Hptgruppenel., p-Block), d-Block umgekehrt

↓ Trend zur Hybridisierung der s, p, d-Orbitale nimmt ab (Winkel X-E-X → 90°)

↓ Trend zum homolytischen Zerfall der E-X-Bindung wächst (thermische Stabilität nimmt ab)

## Anionen

*Oxosäuren der Halogenide*

HOF zersetzt sich sehr schnell: $HOF \rightarrow HF + \{O\}$ bzw. $HOF + H_2O \rightarrow HF + H_2O_2$

$Cl_2 + H_2O \rightleftarrows HCl + HOCl$ Stabilität: HOCl > HOBr >>> HOI
durch weitere Disproportionierungen: $3\ HOCl \rightarrow 2\ HCl + HClO_3$ $4\ HClO_3 \rightarrow HCl + 3\ HClO_4$

Ein Beispiel für eine Komproportionierung ist die Reduktion von Iodat zu Iodid und weiter zu Iod. An diesem Beispiel sieht man auch, dass die Oxosäure von Iod nicht sehr stabil ist:

$HIO_3 + 3\ H_2SO_4 \rightarrow HI + 3\ H_2SO_4$
$HIO_3 + 5\ HI \rightarrow 3\ H_2O + 3\ I_2$



© m.demele@web.de
Verbesserungsvorschläge sind sehr erwünscht

*Cyanwasserstoff (aq. Blausäure)*

$HCN + H_2O \rightarrow H_3O^+ + CN^-$ die Hydrolyse läuft langsam ab

$HCN + 2\ H_2O \rightarrow HCOOH + NH_3$ (es entsteht dabei Ammoniumformiat)

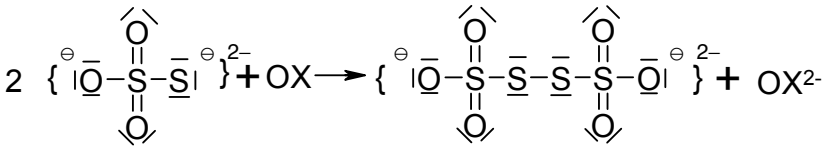
*Schwefelsäuren*

*Reduzierende Wirkung von Sulfiten*

pH>7 $2\ MnO_4^- + 3\ SO_3^{2-} + H_2O \rightleftharpoons 2\ MnO_2\downarrow + 3\ SO_4^{2-} + 2\ OH^-$ *Braunstein*

pH<7 $2\ MnO_4^- + 4\ HSO_3^{2-} + H_3O^+ \rightleftharpoons 2\ Mn^{2+}_{aq.}\ 5\ SO_4^{2-} + 4\ H_2O$ *Entfärbung*

*Oxidation von Thiosulfat zu Tetrathionat*



*abidente Bindung des Thiosulfats*

Thiosulfat kann über den Schwefel oder Sauerstoff binden. Dabei geht es eine weich (S-X) oder harte (O-X) Bindung ein. Im Tetrathionat sind zum Beispiel die beiden weichen Schwefelionen verbunden. Auch Thiocyanat kann über den weichen Schwefel oder den harten Stickstoff binden.

## Kationen

*Lösliche Gruppe*

Lithium, Natrium, Kalium, Ammonium und Magnesium sind in einer Gruppe, weil sie alle ein relativ niedriges Ionisierungspotential besitzen. Große Hydratisierungsenergie aufgrund kleiner Ionen. Magnesium ist Lithium aufgrund der Schrägbeziehung sehr ähnlich.

*Lithiumfällung*

Lithium lässt sich mit Phosphaten und Carbonaten im Neutralen und Basischen fällen. Die Löslichkeit der Niederschläge nimmt erstaunlicherweise mit steigender Temperatur ab. Man vermutet Unregelmäßigkeiten im Ionengitter, die erst bei höheren Temperaturen beseitigt werden, so dass mehr Niederschlag entsteht.

*Hexanitrocobaltat*

Durch eine Redoxreaktion entsteht erst aus Co(II) das Cobalt(III)-Kation und dann der Komplex:

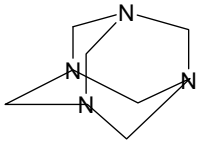
$Co^{2+} + NO_2^- + 2\ H^+ \rightarrow Co^{3+} + NO + H_2O$

$Co^{3+} + 6\ NO_2^- \rightarrow [Co(NO_2)_6]^{3-}$

Mit diesem Komplexsalz lassen sich als Lösung Kalium und auch Ammonium (ähnliche Radien) fällen. Es bilden sich in beiden Fällen gelb-orange Niederschläge.

*Urotropin*

Hexamethylen-tetramin wird Urotropin genannt. Es ist ein Heteroadamantan-Käfig wie $P_4O_{10}$. Die Summenformel ist $(CH_2)_6N_4$ und die Strukturformel:






© m.demele@web.de
*Verbesserungsvorschläge sind sehr erwünscht*

## *Spinelle*

Das Thénards Blau des Aluminiums ist ein solches Spinell, der allgemeine Summenformel $M^{2+}M_2^{3+}O_4$ einem Doppeloxid aus $MO \cdot M_2O_3$. Der Name Spinelle kommt von dem Mineral Spinell: $MgAl_2O_4$.

## *Blutlaugensalze*

Gelbes: $Fe^{2+} + 2\ CN^- \rightarrow Fe(CN)_2$

$Fe(CN)_2 + 4\ CN^- \rightarrow [Fe(CN)_6]^{4-}$

Rotes: $2\ K_4[Fe(CN)_6] + Br_2 \rightarrow 2\ K_3[Fe(CN)_6] + 2\ Br^- + 2\ K^+$

*„Turnbulls Blau“*

$4\ Fe^{2+} + 4\ [Fe(CN)_6]^{3-} \rightarrow Fe_4[Fe(CN)_6]_3\downarrow + [Fe(CN)_6]^{4-}$

$Fe^{3+} + [Fe(CN)_6]^{3-} \rightarrow Fe[Fe(CN)_6]\downarrow$ *mit $Fe^{3+}$ wird das rote Blutlaugensalz braun*

*„Berliner Blau“*

$4\ Fe^{3+} + 3\ [Fe(CN)_6]^{4-} \rightarrow Fe_4[Fe(CN)_6]_3\downarrow$

$2\ Fe^{2+} + [Fe(CN)_6]^{4-} \rightarrow Fe_2[Fe(CN)_6]\downarrow$ *mit $Fe^{2+}$ wird das gelbe Blutlaugensalz weiß*

Die Färbung rührt von einem MM-Charge-Transfer her, Übergang von einem Elektron von $Fe^{2+}$ (low-spin) nach $Fe^{3+}$ (high-spin) durch Anregung vom Licht ($h \cdot \upsilon$).

## *Cobalt-/Nickelsulfid*

Nickel- oder Cobaltsulfide lösen sich nur in oxidierenden Säuren oder in $H_2O_2$/HOAc-Gemisch:

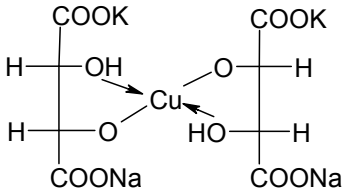
$3\ Co_2S_3 + 16\ HNO_3 \rightarrow 6\ Co(NO_3)_2 + 4\ NO\uparrow + {}^9/_8\ S_8 + H_2O$

$Ni_2S_3 + 11\ H_2O_2 \rightarrow 2\ NiSO_4 + 10\ H_2O + H_2SO_4$

## *Kupfer*

Kupfer ist amphoter: $Cu(OH)_2 + 2\ OH^- \rightarrow [Cu(OH)_4]^{2-}$ $\quad Cu(OH)_2 + 2\ H_3O^+ \rightarrow [Cu(H_2O)_4]^{2+}$

Mit Tartrat bildet Kupfer einen Komplex:




Komproportionierungsreaktion mit konz. HCl

$Cu^{2+} + Cu + 2\ Cl^- \rightleftarrows 2\ CuCl\downarrow$

## *Bismut*

Hydrolyse von Nitraten oder auch Chloriden, allgemein $X^-$:

$BiX_3 + H_2O \rightarrow Bi(O)X\downarrow + 2\ HX$ Es fällt beispielsweise Bismutoxynitrat aus.

## *Zinn*

Ist amphoter, jedoch disproportioniert das gelöste Zinnhydroxid beim Kochen:

$2\ [Sn(OH)_4]^{2-} \rightarrow Sn + [Sn(OH)_6]^{2-} + 2\ OH^-$

Wichtige amphoter Elemente: Aluminium, Kupfer, Zinn und Titan:

$TiO_2 + 2\ OH^- \rightarrow [TiO_3]^{2-} + H_2O$ $\quad TiO_2 + 2\ H^+ \rightarrow [TiO]^{2+} + H_2O$



© m.demele@web.de
*Verbesserungsvorschläge sind sehr erwünscht*