

AFVALWATERBEHANDELING

8 Afvalwaterbehandeling

8.1 Inleiding

Het afvalwater, afkomstig uit de natte wassing, kan niet zonder meer geloosd worden. De volgende uitvoeringen kunnen worden toegepast voor een afvalwaterbehandelingsinstallatie (ABI):

- 1 zware metalen afscheiden en gezuiverd water lozen
- 2 zware metalen afscheiden en water indampen met behulp van een sproeidroger
- 3 zware metalen afscheiden en water indampen met apart indampstelsel
- 4 het water direct indampen met behulp van een sproeidroger
- 5 het water direct indampen met behulp van een apart indampstelsel.

Het afscheiden van de zware metalen die in het afvalwater zijn opgelost vindt steeds volgens hetzelfde principe plaats (uitvoering 1, 2 en 3). Per leverancier zijn kleine verschillen mogelijk, echter als basis geldt steeds de volgende schakeling:

- neutralisatie/verhogen pH
- flocculatie/coagulatie
- bezinken
- afscheiden slib

Het verschil in de diverse systemen bestaat voornamelijk uit de keuze van chemicaliën, de uitvoering van de vaten, de wijze waarop het slib wordt afgescheiden en dergelijke.

Aspecten van belang bij de keuze van de installatie:

- chemicaliënverbruik (hoeveelheid en soort)
- verblijftijden/afmetingen tanks
- samenstelling en hoeveelheid slib en afvalwater
- wijze van slibontwatering
- bufferopslag in geval van storing.

Afhankelijk van de uitvoering van de natte wassing vindt de waterbehandeling in een of twee separate lijnen plaats. Indien bij de eerste wastrap kalk wordt gebruikt is een afzonderlijke behandeling nodig, omdat bij menging van het afvalwater van de eerste en tweede wasser grote hoeveelheden $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (gips) zullen ontstaan en de hoeveelheid slib (chemisch afval) aanzienlijk zal toenemen.

Verdere opmerkingen bij de verschillende uitvoeringen:

ad 1:

Chloride

Het afvalwater bevat na verwijdering van de zware metalen nog vrijwel alle chloride en sulfaat. Lozen van dit afvalwater op oppervlaktewater is mogelijk toegestaan, afhankelijk van de lokale omstandigheden. Hierover is steeds tijdig overleg gewenst met de vergunningverlenende instantie. Ook koeling van het afvalwater voor lozing, om thermische verontreiniging te voorkomen, kan worden voorgeschreven. De lozingsnormen worden voortdurend strenger.

ad 2 en 3:

Indampen

Bij indampen van het afvalwater, nadat de zware metalen grotendeels zijn verwijderd, zal een eindproduct ontstaan dat niet als chemisch afval beschouwd hoeft te worden.

Het is echter belangrijk voor de uiteindelijke keuze van de ABI om na te gaan of het eindproduct mogelijk afzetbaar is om opslag in een speciale deponie te voorkomen (het eindproduct is zeer goed uitloogbaar). Bij toepassing van een apart indampstelsel bestaat de mogelijkheid om een min of meer zuiver eindproduct te verkrijgen (zoutzuur, keukenzout, pek, gips) door toepassing van bijvoorbeeld gefractioneerde kristallisatie. Op afbeelding 1 is een dergelijk indampstelsel weergegeven. Bij toepassing van een sproeidroger bestaat deze mogelijkheid niet; hier zal het eindproduct niet afzetbaar zijn. Overigens kan de sproeidroger worden gecombineerd met de sproeiabsorber van een semi-droog stelsel.

ad 4 en 5:

Indien afvalwater direct wordt ingedampt zal het (droge) eindproduct aanzienlijke hoeveelheden zware metalen bevatten en zal dit eindproduct naar verwachting moeten worden beschouwd als chemisch afval, met alle gevolgen van dien. Tevens bestaat het risico van accumulatie van vluchtige bestanddelen (vooral kwik) bij het direct indampen in een sproeidroger, hetgeen een extra verwijderingstap nodig maakt.

Zware metalen	in µg/l
Cu	5.000 - 15.000
Cr	500 - 1.500
Zn	150.000 - 450.000
Pb	100.000 - 300.000
Ni	250 - 750
Cd	2.000 - 6.000
Hg	5.000 - 15.000
As	300 - 900
Zoutgehaltes	in mg/l
F	100 - 300
Cl	10.000 - 30.000
SO ₃ / SO ₄	5.000 - 15.000
NH ₄ ⁺	3.000 - 10.000
Overig	in µg/l
PAK (totaal)	1,0 - 5,0
PCDD's / PCDF's	p.m.

Tabel 1. Globale samenstelling onbehandeld waswater.

8.2 Sproeidrogers en sproeiabsorbers

Semi droog

Sproeidrogers worden ingezet om afvalwater, afkomstig uit de natte wassing, in te dampen met behulp van de warmte van de rookgassen. Sproei-absorbers vinden toepassing bij het droge en semi-droge proces. De werking van deze apparaten berust op hetzelfde principe. Het is ook mogelijk om beide toepassingen te combineren: in de absorber wordt zowel een kalkoplossing als het afvalwater geïnjecteerd (afzonderlijk).

Bij het droge proces wordt het rookgas eerst bevochtigd door injectie van water, hetgeen tevens een temperatuursverlaging tot gevolg heeft. De reactie met calciumhydroxide (Ca(OH)_2) zal dan beter verlopen. Het is van belang dat de kalk een groot specifiek oppervlak heeft.

Toevoegen van een additief, bijvoorbeeld actief kool, geeft een duidelijke verbetering van de absorptie.

De gebruikte kalk kan deels worden gerecirculeerd.

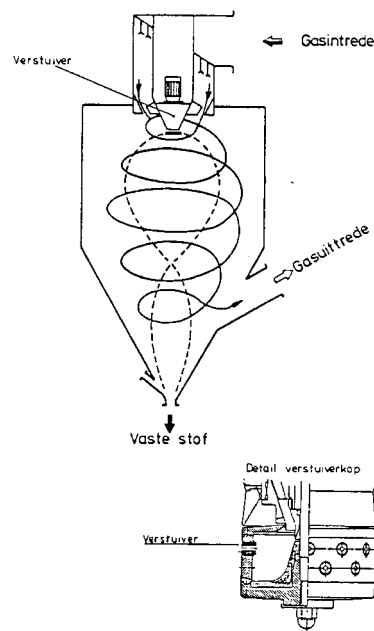
Bij toepassing van een (semi) droog systeem zal er een overmaat kalk of kalkmelk gedoseerd moeten worden. Dit heeft tot gevolg dat er een aanzienlijke hoeveelheid reststoffen ontstaat, dat in principe als chemisch afval moet worden beschouwd en hoge opslagkosten tot gevolg zal hebben. De richtlijnen voor HCl, HF en SO_2 van BLA kunnen bij toepassing van een sproeiabsorber (dus bij droog of semi-droog proces) alleen bereikt worden indien een grote overmaat kalk(melk) wordt toegepast.

Zware metalen

Zware metalen en dioxinen kunnen mogelijk worden verwijderd tot onder de eisen, indien een additief wordt toegepast. Snelle variaties in het rookgasdebiet kunnen een goede menging in de sproeiabsorber verstoren. Variaties in de concentratie worden grotendeels opgevangen door de overmaat kalk die wordt gebruikt, zie tabel 2.

Concentratie in schone Rookgassen (mg/Nm^3)	Kalksproeiwater	Venturiwater
HCl	5 - 10	1 - 10
HF	< 1	< 1
SO_2	30 - 100	10 - 60
Zware metalen (excl. Hg)	< 1	< 1
Residu rookgasreiniging (kg droge stof / ton afval)	14	10

Tabel 2. Kalksproeiwater en venturiwater.



Afbeelding 1. Sproeiabsorber met rotatie verstuiving. Bron AEB.

Contactoppervlak

Voor een goede werking van de sproei-absorber is vooral de verdeelinrichting van de kalk of kalkoplossing van belang. De sproeiers kunnen snel verstopt raken en vaak is een vervanging van het sproeisysteem mogelijk, terwijl de AVI in bedrijf blijft. Voor een goede stofoverdracht is een hoge relatieve snelheid van de vloeistof of de kalkdeeltjes ten opzichte van het rookgas benodigd.

De bedoeling van de sproeiabsorber is om tussen het vloeibare absorptiemiddel en het rookgas een zo groot mogelijk contactoppervlak te doen ontstaan. Op die manier worden de beste voorwaarden geschapen voor de reactie van de gasvormige componenten van het schadelijke gas met het reactiemiddel in de vloeistof.

Omdat voor de warmte- en stofoverdracht het beschikbare oppervlak van doorslaggevend belang is, is het doel van de verstuiving om druppels van een zo klein mogelijke diameter te laten ontstaan.

De reactoren van de semi-droge rookgasreiniging die op het ogenblik worden aangeboden vertonen belangrijke verschillen in de wijze waarop de suspensie wordt verstoven. Onderscheiden worden roterende verstuivers en sproeierversuivers.

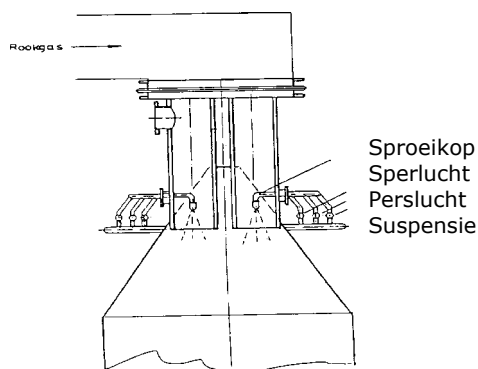
Bij de centrifugaalverstuiverinstallatie (roterende verstuiver) wordt de absorptievloeistof verneveld door een in het midden van het dak van de toren geplaatst apparaat.

De vloeistof wordt in het midden op de roterende verstuiverschijf toegevoerd en loopt door de middelpuntvliedende kracht naar buiten. Aan de rand van de schijf wordt de vloeistof dan in druppelvorm weggeslingerd, zie afbeelding 1.

De grootte van de druppels wordt bepaald door de evenwichtsrelatie tussen de middelpuntvliedende kracht en de oppervlaktespanning. Hoe groter de diameter van de schijf en hoe hoger het toerental van de verstuiverschijf, hoe kleiner de druppels worden.

Bij de sproeierversuiving worden de rookgassen boven in de reactor toegevoerd. In het bovenste deel van de reactortoren wordt het gas via meerdere toegangskanalen gelijkmatig verdeeld. De snelheid van het gas neemt toe, terwijl het door deze verdeelkanalen stroomt. Bij de

uitgang van de verdelers, waar de fijn verstoven vloeistof wordt ingespoten, vermindert de snelheid van het gas plotseling.



Afbeelding 2. Sproeiabsorber met sproeikop verstuiwing.

Turbulentie

De daardoor ontstane hoge turbulentie maakt dat de druppeltjes optimaal worden vermengd met de rookgassen, zie afbeelding 2.

Als speciale constructie wordt verwezen naar de semi-droge rookgasreiniging van de firma Flakt. Bij deze methode wordt geen kalkmelksuspensie, maar droge kalk ingeblazen. Ter beoordeling van de verschillende sproeireactoren kan het volgende worden opgemerkt.

Bij verstuiwing door middel van rotatieschijven zijn de druppels kleiner dan bij verstuiwing met sproeiers. Dit heeft niet uitsluitend een positief effect op de reactie, maar het heeft ook tot gevolg dat het resterende vochtgehalte van de reactieproducten lager is en dat daardoor de transportinstallaties wegens de geringere neiging tot aanbakken bedrijfszekerder kunnen werken.

Bij de rotatieverstuiwing hangt de grootte van de deeltjes vrijwel uitsluitend af van het toerental van de schijf.

Daardoor blijft zelfs bij grote variaties in de belasting de grootte van de druppels gelijk.

Verder kunnen grote hoeveelheden vloeistof met een verstuiveraggregaat worden versproeid.

Bij sproeierverstuiwing is het nodig om, wanneer grote hoeveelheden verwerkt moeten worden, meer dan één twee-fasenverstuivers te installeren. Doordat de rookgassen worden opgesplitst, ontstaan echter gecompliceerde stromingssituaties.

De grootte van de deeltjes neemt af bij toenemende verstuiverdruk. Dit heeft tot gevolg, dat bij variaties in de belasting het druppelspectrum ongunstig verandert.

Levensduur

De levensduur van de rotatieschijf bedraagt minstens 6 maanden, terwijl sproeiers na circa 22 maanden moeten worden vervangen. Bovendien is bij sproeiers voortdurend onderhoud vereist. Overigens wordt de totale standtijd van de installatie nauwelijks door dit aspect beïnvloed, aangezien de vervanging van de onderdelen snel kan plaatsvinden.

In deze trap wordt bij voorkeur natronloog gebruikt, om te voorkomen dat er gips wordt gevormd dat ontstaat bij neutralisatie met kalk.

8.2.1 Corrosie, vervuiling

Door de hoge snelheid van de verdampende vloeistof en de ontstane vaste stofdeeltjes kan erosie optreden, vooral van de verdeelschijf van het sproeisysteem. Indien de absorber niet goed gedimensioneerd is, kan een zeer snelle vervuiling plaatsvinden.

Dit geldt eveneens voor een droog systeem.

De sproeidroger voor de indamping van de spui uit de wassers is in cilindrische vorm met een conisch onderstuk uitgevoerd; Er is een sproeidroger met een diameter van 3,7 m voorzien.

Erosie

De hete rookgassen worden via een veelvuldig beproefde verdeelkoepel in de sproeidroger geleid. Deze deelinstallatie is van geleide platen en instelbare turbulentieroosters voorzien, zodat het rookgas en de vloeistofniveaus goed vermengd kunnen worden. De verstuiving van het toegevoerde, in te dampen water vindt in een schijf plaats.

Dankzij de constructie hiervan en dankzij de vloeistofverdelers wordt erosie op de schijfbodem tot een minimum beperkt. De versnelling tot de voor de verstuiving vereiste hoge omvangsnelheid vindt in speciale sproei-ers plaats die weerstandbiedend zijn.

De vloeistofcapaciteit van het sproeiaggregaat is zodanig gedimensioneerd, dat zowel de in de rookgasreiniging vrijkomende zouten indampen, alsmede de tot een procestechnische minimumtemperatuur in te brengen hoeveelheid water opgenomen wordt.

De verstuiverschil wordt met behulp van een aggregaat aangedreven, dat in essentie uit een planeetkoppeling alsmede uit een elektromotoraandrijving bestaat. Het verstui-veraggregaat kan tijdens het bedrijf van de installatie vervangen worden, omdat de sproeidroger in onderdruk bedreven wordt. Deskundig personeel heeft voor de vervanging van een aggregaat ongeveer een half uur nodig. Het doekenfilter kan ook bij een kortstondige uitval van de koeling verder bedreven worden.

Temperatuur

De in combinatie met de volumestroom bepalende regelgrootte voor de afvalwaterindamping is de rookgastemperatuur aan de uitlaat van de sproeidroger. De temperatuur dient onder normale omstandigheden 180 °C te bedragen en kan desgewenst tijdelijk tot 170 °C teruggebracht worden. De temperatuur ligt ver van het dauwpunt en garandeert, vooral in combinatie met de warmte-isolatie, dat er geen corrosie optreedt. Daarnaast wordt de conus van de sproeidroger van een elektrische hulpverwarming voorzien.

Doordat dauwpunt overschrijdingen vermeden worden en de stroming door de constructie wordt beïnvloed, worden aanvoeringen, die tot storingen bij het bedrijf van de installatie kunnen leiden, sterk gereduceerd.

Op het moment dat de verstuiver vloeistof die zout en vaste stoffen bevat met het rookgas in aanraking komt, vindt de verdamping van het door de suspensie ingebrachte water plaats. Hierdoor daalt de rookgastemperatuur, waarbij de hoeveelheid ingebrachte suspensie via de uittredetemperatuur geregeld wordt.

De bijbehorende meting en verwerking van de rookgasvolumestroom voor de droger maakt een snelle aanpassing van de in te dampen hoeveelheid afvalwater mogelijk. De minimumtemperatuur bij de uitlaat mag in geen enkel bedrijfsgeval overschreden worden.

Schadelijke gassen

Het in de sproeidroger en het in het nageschakelde doekenfilter afgescheiden droogproduct wordt in droge, korrelige vorm uit de gasreinigingsinstallatie afgevoerd. Na het samenbrengen door mechanische transportsystemen wordt het mengsel pneumatisch naar de reststofsilo getransporteerd.

De schadelijke gassen HCl, HF en SO_x worden door kalkhydraat gebonden en als vaste reactieproducten afgescheiden. De geïnjecteerde vloeistof verdampt en koelt het rookgas af.

8.3 Waswaterbehandeling

Behalve de bovengenoemde variant van natte rookgasreiniging met sproeidroging zijn er nog meer systemen om waswater te behandelen.

In dit hoofdstuk worden methoden beschreven voor de behandeling van waswater dat ontstaat bij natte reiniging. Er zijn de volgende mogelijkheden:

- lozen
- behandelen en lozen
- indikken
- indampen (HCl en NaCl terugwinning)

8.3.1 Lozen van het waswater

De hoeveelheden waswater zijn afhankelijk van het gehalte aan schadelijke stoffen in het voor verbranding aangeleverde afval en van de manier waarop de wasser wordt bedreven. Voor het gebruik dat het meest voorkomt met een waswaterkringloop van zuur water waarbij men zich beperkt tot het afscheiden van HCl en HF liggen de voor het scheidingsproces benodigde hoeveelheden bij 0,25 tot 1,0 m³ waswater per ton afval.

Neutralisatie

De neutralisatie van het zure waswater voor het wordt geloosd, kan met kalk of natronloog gebeuren. De samenstelling van het waswater is afhankelijk van de hoeveelheid en samenstelling van de ongereinigde rookgassen en is aan aanzienlijke schommelingen onderhevig.

Enkele relevante analysegegevens voor waswater, gebruikt bij het wassen van rookgassen voor en na de neutralisatie zijn in tabel 3 weergegeven.

De vergelijking van de verschillende waarden geeft een inzicht in de spreiding in relatie tot de samenstelling.

Zware metalen	in µg/l
Cu	5.000 à 15.000
Cr	500 à 1.500
Zn	150.000 à 450.000
Pb	100.000 à 300.000
Ni	250 à 750
Cd	2.000 à 6.000
Hg	5.000 à 15.000
As	300 à 900
Zoutgehaltes	in mg/l
F ⁻	100 à 300
Cl ⁻	10.000 à 30.000
SO ₃ = SO ₄ =	5.000 à 15.000
NH ₄ ⁺	3.000 à 10.000
Overige componenten	
PAK (totaal)	1,0 à 5,0 µg/l
PCDD's/PCDF's	niet bekend

Tabel 3. *Indicatieve samenstelling van het onbehandelde waswater, als gemiddelde van zure en basische trap.*

8.3.2 Behandelen en lozen van het waswater

Naar de huidige stand van de techniek bestaat een installatie voor het conditioneren van waswater minstens uit een neutralisatie, een scheidingstrap met toeslagstoffen voor het afscheiden van zware metalen, en een sedimentatie en ontwateringstrap voor het afgescheiden slib. Daarnaast worden ionenwisselaars voor het verwijderen van zware metalen gebruikt.

Nieuwe eisen zullen vermoedelijk als volgt zijn:

Metaal	mg/ltr
Cd	0,05
Cr	2
Pb	0,1
Zn	2
Hg	0,0

De volgende behandelingsfasen zijn mogelijk voor het reinigen van waswater van natte rookgasreinigingsmethoden:

- neutralisatie met $\text{Ca}(\text{OH})_2$ of NaOH
- afscheiden van zware metalen met Na_2S of TMT (TMT = $\text{Na}_3(\text{CNS})_3$)
- uitvlokkings en restneutralisatie van Na_2S met FeCl_3
- sedimentatie
- beluchting eventueel oxidatie met H_2O_2
- neutralisatie
- filtering in kiezelzandfilters
- ionenwisseling zware metalen
- analyse
- afvoer

Het discontinu afgetapte waswater uit de natte rookgasreinigingsmethode wordt met kalkmelk of natronloog gealkaliseerd, waarbij de in water oplosbare zware metalen worden omgezet in de vorm van hydroxiden en worden afgescheiden. Onder toevoeging van Na_2S , TMT als scheidingsmiddel worden verdere zware metalen afgescheiden. De colloïdale metaalhydroxiden en sulfiden worden met behulp van driewaardig ijzerchloride en poly-elektrolyten tot grote vlokken uitgevlokt. In lange bezinkbakken zet het slib zich tijdens een verblijfsduur van circa 4 uur af. Het slib wordt met behulp van schuivers met de hand of automatisch verwijderd.

Beluchting

Na beluchting en eventueel onder toevoeging van H_2O_2 wordt het waswater, nadat het door nog een bezinkbekken is gestroomd, in een kiezelzandfilter gefiltreerd. Selectieve verwijdering van zware metalen gaat met een macroporeus kationenwisselingshars.

De opgeloste zware metalen worden hier bijna volledig verwijderd. In meet en controlebekkens worden de pH-waarde, het geleidingsvermogen, het debiet en de temperatuur van het te behandelen water gemeten. Wanneer de waarden te hoog zijn, wordt het waswater automatisch naar een opslagbekken teruggeleid. De steeds dubbel aanwezige bezink en opslagreservoirs evenals vele omloopleidingen, bypasses en terugloopleidingen maken het mogelijk het reinigingsproces geheel of gedeeltelijk te herhalen, wanneer door bedrijfsstoringen het normale reinigingsproces niet voldoende is. Verder is hierdoor de mogelijkheid gegeven om in speciale gevallen door toevoeging van andere dan de normaal gebruikte chemicaliën de noodzakelijke behandeling van het waswater te verzekeren. Het is dus bedrijfsmatig noodzakelijk dat van alle dubbel geplaatste reservoirs er één wordt vrijgehouden om daarop, in geval van storing, te kunnen overschakelen.

Verdampers**8.3.3 Indikken van het waswater**

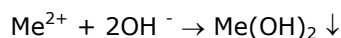
Het doel van het indikken van het waswater is gelegen in het produceren van zouten die voor hergebruik in aanmerking komen. Voor het indikken van het waswater in een of meer trappen door middel van oppervlaktewarmtewisselaars worden de volgende verdampers gebruikt:

- Open ééntraps of gesloten meertrapsfilmverdampers bij atmosferische druk met mechanische afvoer van de vaste stoffen, eventueel zonder warmte terug te winnen bij de condensatie van vrijkomende damp.
- Gesloten meertrapsontspanningsverdampers met gedeeltelijke warmteterugwinning in maximaal 5 druktrappen met droging van het restant van de vaste stoffen op een achter de verdamper geplaatst vloeibed.

Vanuit een standpunt van energieverbruik is een eentrapsfilmverdampers uitgesproken onvoordelig. De totale hoeveelheid waswater moet met behulp van verse stoom (circa 10 bar, zodat temperaturen van 410 Kelvin kunnen worden bereikt) worden ingedampt. Het specifieke stoomverbruik is een factor 3 tot 5 hoger dan bij de meertrapsontspanningsverdampers. Behalve bedrijfsorganisatorische problemen moeten complexe materiaalproblemen worden opgelost, omdat bij de relatief hoge wandtemperaturen van 410 Kelvin corrosieproblemen in versterkte materialen optreden. Als voordeel van de filmverdampers kan vooral de kleine, eenvoudige constructie en de geringe plaatsruimte worden genoemd. Bij de meertrapsontspanningsverdampers treden de meeste problemen van de filmverdampers niet op. Het verbruik aan thermische energie is gering en dat van elektrische energie is niet noemenswaardig. Het ontzoute water wordt in de vorm van gecondenseerde damp teruggewonnen.

Exploitatiekosten

Investerings- en materiaalproblemen treden eveneens op, maar deze zijn tot enkele elementen te beperken. De constructie is wezenlijk gecompliceerder. Daarnaast is het nodig aan de neutralisatie met chemicaliën als bijvoorbeeld natronloog de voorkeur te geven in plaats van kalk om de verwarmingsoppervlakken te kunnen schoonspoelen. Behalve de noodzakelijke investeringskosten, zijn ook de exploitatiekosten van de totale installatie en de energiekosten hoger.



8.3.4 Indampen van het waswater

Indampen met een sproeidroger:

Bij het indampen van het waswater wordt de voelbare warmte van de rookgassen in een ééntraps sproeidroger direct gebruikt. Het hete rookgas stroomt door de sproeidroger gelijk op met het dunne slib, dat vooraf gebufferd is.

Droge product

Het droge product wordt uit de reactor en de daarachter geschakelde elektrofilters verwijderd. Het van vliegafschuim gereinigde gas wordt daarna naar de wasinstallatie geleid.

Voor het indampen van het waswater bij de natte rookgasreiniging moeten dus sproeidrogers en elektrofilters in de rookgassen worden geïnstalleerd.

Indampen met een speciale indampinstallatie:

De wasvloeistof die onder in de wasser wordt opgevangen, wordt meerdere keren gerecirculeerd. Daardoor krijgt deze wasvloeistof een hoge concentratie aan verontreinigingen. Om deze uit het systeem te verwijderen wordt een gedeelte van deze geconcentreerde wasvloeistof afgevoerd.

Het afvalwater wordt in de ABI geneutraliseerd met natronloog, NaOH en er wordt eventueel TMT-15 toegevoegd om zware metalen te binden. Tevens kan CaCl_2 toegevoegd worden om ervoor te zorgen dat eventueel aanwezig natriumfluoride, NaF, wordt omgezet in minder giftig calciumfluoride, CaF_2 . Vervolgens wordt de vloeistof naar de indampers gepompt.

Dichtheid

Omdat de dichtheid van de vloeistof nog relatief laag is, noemen we de eerste indamper de "spoelende" indamper.

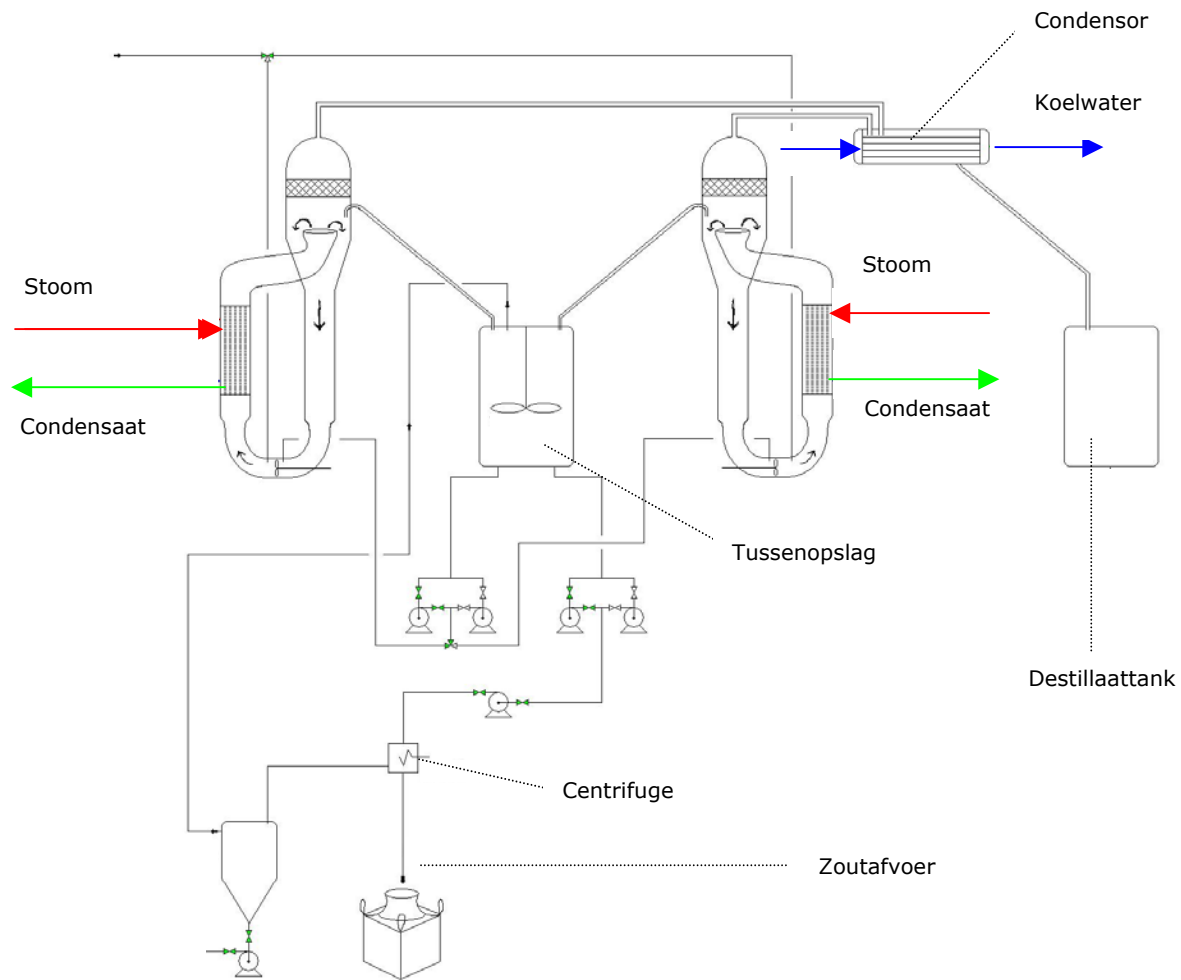
De indamp installatie bestaat uit twee kolommen waarvan er één voorzien is van een met stoom verwarmde warmtewisselaar, zie afbeelding 3.

De spoelende indamper wordt verwarmd met een bepaalde hoeveelheid stoom.

De verwarmde, maar niet kokende, vloeistof wordt rondgepompt met behulp van een pomp.

Wanneer de indamper vol is, stroomt de vloeistof via een overloopleiding naar de tussenopslagtank (1).

Vanuit de tussenopslagtank wordt het naar de volgende indamper gepompt, de zogenaamde "indampende" indamper.



Afbeelding 3. Een voorbeeld van een indampinstallatie. Bron SNB.

Koken

Deze indamper is identiek aan de spoelende indamper, maar wordt heviger verwarmd, waardoor de vloeistof gaat koken. Ook vanuit deze indamper stroomt de kokende vloeistof over naar de tussenopslagtank.

Aan de bovenzijde van de indamper wordt de damp via een druppelvanger afgevoerd naar een condensor. De gecondenseerde vloeistof wordt via een eventuele destillaattank afgevoerd en verder nabehandeld.

Zodra de dichtheid in de tussenopslagtank circa 1300 kg/m^3 bedraagt wordt de suspensie met behulp van een slangpomp naar de centrifuge afgevoerd. In de centrifuge worden dan de kristallen van het water gescheiden.

8.4 Fysisch-chemische afvalwaterbehandelinginstallatie

De hoeveelheid spuiwater die bij een meertraps natte wassing vrijkomt bedraagt, afhankelijk van leverancier en systeemkeuze 200 à 400 liter per ton afval. Het water is voornamelijk chemisch verontreinigd met (chloride-, fluoride-, sulfiet- en sulfaat) zouten, met een hoge belasting aan zware metalen en in mindere mate met organische microverontreinigingen en wordt in een fysisch-chemische afvalwaterbehandelinginstallatie gereinigd alvorens het geloosd kan worden.

Volautomatisch

De betreffende zuiveringssystemen zijn volautomatisch. De mogelijkheid bestaat om bij storing het effluent, dat niet aan de gestelde normen voldoet, tijdelijk in een opslagtank te bewaren en nadien opnieuw te zuiveren.

Het proces bestaat in hoofdzaak uit de volgende onderdelen:

- Neutralisatie met kalkmelk van het spuiwater uit de zure wastrap.
- Eventueel, voorbezinking van de daarbij gevormde neerslagen.
- Een ammoniakstripper.
- Samenvoeging van het geneutraliseerde, gestripte Spuiwater uit de zure trap met het spuiwater uit de basische trap.
- Koeling, normaliter met behulp van het (daarna) door de rookgasreiniging te verbruiken bedrijfswater.
- pH regeling, het betreft een nauwkeurige naregeling van de pH met behulp van kalk of zuur (HCl), om een voor de neerslag van de zware metalen optimale waarde te realiseren.
- Flocculatie met toevoeging van diverse polyelektrolyten.
- Toevoeging van Na_2S met als gevolg vorming van zeer slecht oplosbare en goed sedimenteerbare metaalsulfiden. Daar Na_2S toxisch is, moet het overschot ervan door toevoeging van FeCl_3 verwijderd worden. Dit alles gebeurt voor de sedimentatie.
- In plaats van deze genoemde methode wordt ook wel het preparaat TMT 15 toegevoegd. TMT 15 is een 15% waterige oplossing van Trimercapto-s-triazin, dat bij overdosering geen toxisch effect heeft op het aquatisch milieu. De gevormde organische metaalverbindingen (met bivalente metaalionen) zijn gemakkelijk filtreerbaar en ook na afscheiding als slib zeer stabiel. Na de ammoniakstripping treedt geen stank meer op.
- Verder wordt in plaats van Na_2S en TMT ($= \text{Na}_3(\text{CNS})_3$) ook steeds meer gebruik gemaakt van Natriumthiosulfaat, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

Overige stankstoffen worden in het verbrandingsproces efficiënt vernietigd en komen dus niet in het waswater terecht. Het gehalte aan calcium (in de vorm van Ca^{2+}) bedraagt circa 2,5 gram per liter, natrium (Na^+) circa 5 gram per liter. Het magnesiumgehalte is laag.

Vanuit de rookgassen komt weinig magnesium in het waswater. Het magnesiumgehalte wordt daardoor bepaald door de in de gebruikte chemicaliën (kalk) aanwezige gehalten.

De overige verontreinigingen, met name de zware metalen worden met een zeer goed rendement uit de spuistroom verwijderd. De relatief wat lagere rendementen voor chroom en nikkel zijn het gevolg van het relatief lage gehalte van deze zware metalen in het ongereinigde waswater.

Ten aanzien van PAK's en PCDD's/PCDF's zijn zeer lage restconcentraties te verwachten wanneer aan de gestelde norm ten aanzien van verwijdering van vaste stof wordt voldaan.

- Het gevormde residu kan worden ontwaterd in een filterpers tot een droge stof gehalte van circa 40%. De hoeveelheid bedraagt circa 10 kg materiaal (circa 4 kg droge stof) per ton verbrand afval. Afvoer van het residu vindt plaats met behulp van containers die onder de filterpers zijn opgesteld. De eindbestemming is vermoedelijk C2- of C3-deponie, mede afhankelijk van de verdere ontwikkelingen. Het filtraat wordt teruggevoerd naar de afvalwaterreinigingsinstallatie.
- De overloop van de bezinking wordt gefiltreerd in een zandfilter.

Tabel 4 geeft een indicatief overzicht van de samenstelling van het te lozen afvalwater.

Het betreft indicatieve waarden, omdat de samenstelling van geval tot geval kan verschillen, afhankelijk van factoren als met name:

- De in het afval aanwezige verontreinigingen
- Het vliegasegehalte in de rookgassen na de stofvoorafscheiding;
- De mate van recirculatie van het waswater
- De toegepaste overmaat aan ammoniakdosering ten behoeve van het SNCR-DeNO_x-systeem

Bij het toegepaste reinigingsproces hebben de mogelijke variaties in samenstelling van het ongereinigde waswater slechts een beperkte invloed op de samenstelling van het te lozen gereinigde water, mits de installatie voldoende ruim gedimensioneerd is om de optredende variaties op te kunnen vangen.

De gehalten aan verontreiniging in het te lozen water worden in hoofdzaak bepaald door fysische procesgrootheden, zoals de oplosbaarheidproducten van de zware metaalverbindingen, door de heersende pH in het systeem en door het restgehalte aan vaste stof. Het belangrijkste bestanddeel van het te lozen afvalwater betreft het chloridengehalte. De in de wasser uit de rookgassen verwijderde HCl komt vanwege de goede oplosbaarheid van CaCl₂ en NaCl nagenoeg volledig terecht in het afvalwater, in de vorm van deze chloriden. Het sulfaatgehalte wordt bepaald door de oplosbaarheid van calciumsulfaat. Als vergelijkingstabel, zie tabel 4.

Metalen	Voor waswaterbehandeling mg/ltr	Na waswaterbehandeling mg/ltr
Pb	5,2	0,44
Cd	0,32	0,10
Cr	0,7	0,11
Fe	4,65	0,37
Cu	0,64	0,075
Ni	4,2	1,25
Hg	3,96	2,47
Zn	7,2	0,45

Tabel 4. Vergelijkingstabel zware metalen voor en na waswaterbehandeling. Als neutralisatiemiddel wordt Ca(OH)_2 gebruikt.

NaOH	Ca(OH)_2
Geen kans op verstopping.	Kans op verstopping
Minder vaste massa in filterpers.	Goede vaste massa in Filterpers
Circa 60% water.	Circa 40% water

Tabel 5. Voor en nadelen gebruik NaOH en Ca(OH)_2 .

8.5 Nadere beschouwing fysisch chemische water behandeling

Bij dit systeem, algemeen toegepast bij afvalverbrandinginstallaties, bestaat het proces uit vier gedeeltes, te weten:

- precipitatie
- coagulatie
- flocculatie
- sedimentatie

Kwik

Precipitatie:

Hieronder verstaat men het neerslaan van zowel opgeloste (metaalionen) als slecht oplosbare metaalhydroxiden. Kwik kan in verschillende vormen voorkomen en slaat als hydroxide niet neer. Daarom wordt om kwik af te vangen wel een anorganische of organische sulfide gedoseerd. In de praktijk wordt hiervoor natriumsulfide, Na_2S , of Tri-Mercapto-s-Triazine, TMT, gebruikt. Molybdeen komt als Molybdaat, MoO_4^{2-} , voor en vormt ook geen hydroxide, Arseen komt als Arsenaat, AsO_4^{3-} , voor en ook deze vormt geen hydroxide.

TMT

TMT is duurder dan natriumsulfide, maar de te nemen voorzorgsmaatregelen ten aanzien van veiligheid en milieu zijn veel minder kritiek dan die van anorganische sulfiden zoals Na_2S . Het nadeel van de organische sulfiden zoals TMT is, dat deze enkel met één of tweewaardige metalen een binding aangaat. Men noemt dit een iogene binding. De anorganische sulfiden reageren wel met driewaardige kationen, zoals bijvoorbeeld driewaardige ijzer Fe^{3+} en aluminium Al^{3+} .

Coagulatie of vlokvorming (primaire vlokking):

Op de neergeslagen deeltjes zijn vier krachten werkzaam die samen het gedrag hiervan bepalen.

Deze krachten zijn:

- De zwaartekracht
- De Brownse beweging
- Elektrostatische krachten
- Van der Waalskrachten

Door de zwaartekracht neigen de deeltjes te bezinken.

De Brownse beweging voorkomt uitzakken van de deeltjes door onderlinge botsingen in de vloeistof, deze zijn temperatuur afhankelijk.

Elektrostatische krachten zorgen voornamelijk voor afstoting van de deeltjes.

Van der Waalskrachten zorgen voor aantrekking van de deeltjes op basis van hun polariteit.

Poly-elektrolyt**Flocculatie of vloggroei (secundaire vlokking):**

Om de gevormde kleine vlokken, ook wel microvlokken genoemd, te vergroten tot beter bezinkbare grote vlokken, of te wel macrovlokken, worden de kleine vlokken samengebonden met behulp van een polymere elektrolyt, PE.

De lading van deze elektrolyt is tegengesteld aan de (oppervlakte) lading van de microvlokken.

De flocculatiemechanismen zijn:

- Het samenbinden van de microvlokken met behulp van een polymere elektrolyt.
- Het invangen van colloïdale deeltjes en microvlokken door macrovlokken.

In tegenstelling tot de coagulatie vindt flocculatie uitsluitend plaats met behulp van polymere elektrolyten.

Chemicaliën

Coaguleren en flocculeren zijn twee begrippen die zeer nauw aan elkaar verwant zijn. Simpelweg kan men zeggen dat coaguleren het samenklonteren van kleine deeltjes is en flocculeren het laten ontstaan van grotere vlokken door toevoeging van bepaalde chemicaliën.

Voor coagulatie kan ijzer(III)chloride gebruikt worden. Een dergelijk coagulatiemiddel zorgt ervoor dat de elektrisch geladen colloïdale deeltjes ontladen zullen worden.

Zout**Colloïdale deeltjes:**

Dit zijn zeer kleine deeltjes die niet zonder meer door filtratie of bezinking uit het water te verwijderen zijn. Doorgaans hebben deze deeltjes een negatieve lading en hierdoor zullen deze elkaar onderling afstoten. Het gevolg hiervan is dat deze deeltjes niet zonder meer samenklonteren. Een oplossing van colloïdale deeltjes noemt men een sol. Is het oplosmiddel water dan noemt men dit een hydrosol.

Stoffen die opgelost zijn als een sol kan men laten uitvlokken door middel van verhitting of door toevoeging van een zout. We noemen dit zout dan: het poly-elektrolyt.

Sedimentatie:

Hieronder verstaat men het bezinken van vaste deeltjes onder invloed van zwaartekracht.

Het tegengestelde van sedimentatie, het opdrijven van deeltjes die lichter zijn dan water, wordt flotatie genoemd. Factoren die de richting van de deeltjes in dergelijke processen bepalen zijn:

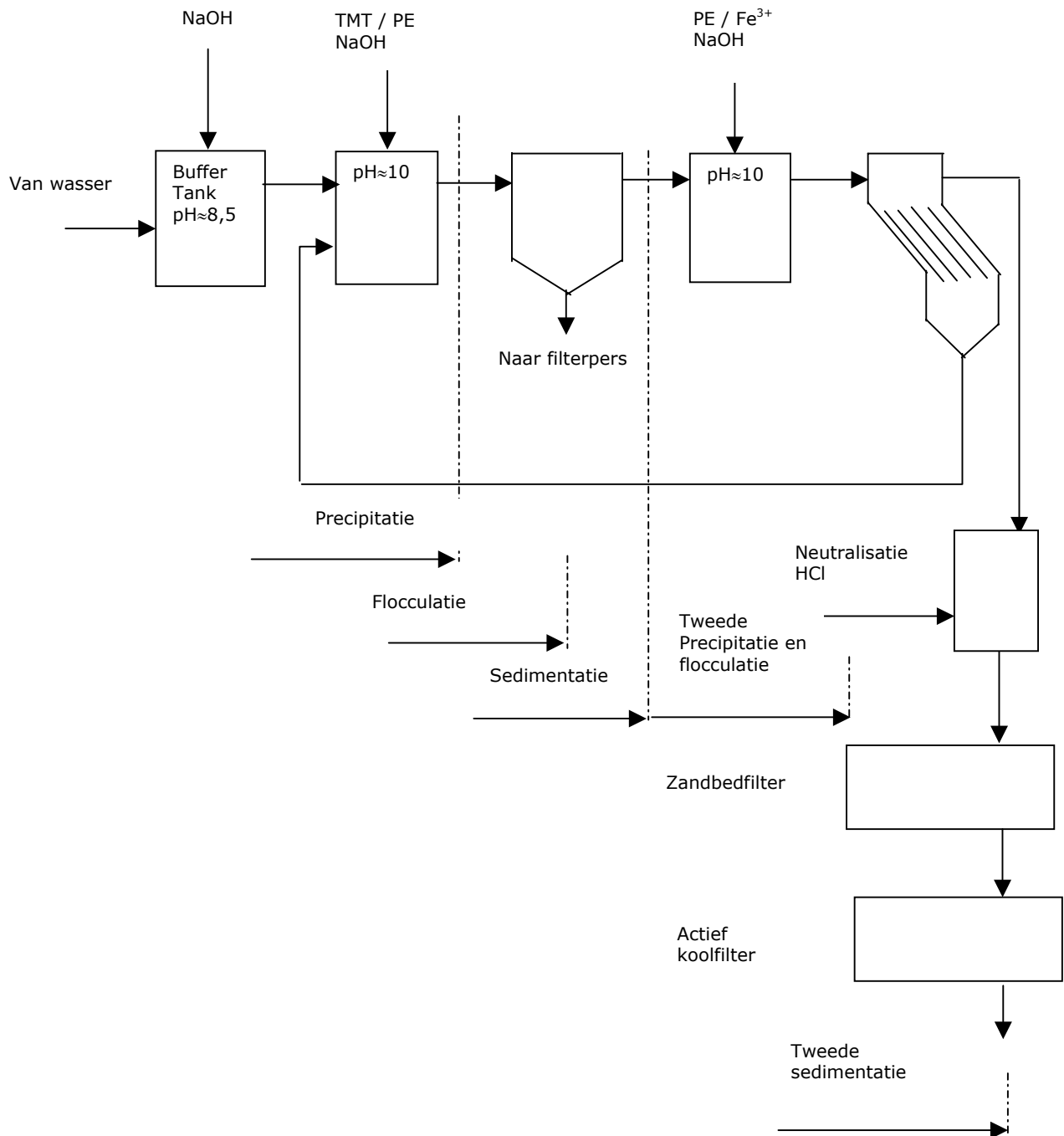
- verblijftijd
- dichtheid verschil deeltjes / water
- deeltjesgrootte
- temperatuur

Bezinken

Het bezinken is een eenvoudig proces. De door bezinking afgescheiden deeltjes bereiken de bodem van de bezinktank voordat de verblijftijd binnen de bezinktank verstreken is.

De deeltjes die zich op de bodem verzameld hebben, wordt slib genoemd dat regelmatig verwijderd dient te worden. Als gevolg van deze neerslag blijft een geklaarde vloeistof achter, die zeer behoedzaam verplaatst dient te worden. Om het neerslagproces niet te verstoren.

Het systeem dat berust op bovenstaande principes is weergegeven op afbeelding 4. Op de afbeelding zijn de verschillende deelprocessen weergegeven. Merk op dat het hier in twee stappen gebeurt, een eerste precipitatie en een tweede precipitatie enzovoort.



Afbeelding 4. Schematische voorstelling van een willekeurige fysisch chemische afvalwaterbehandeling.

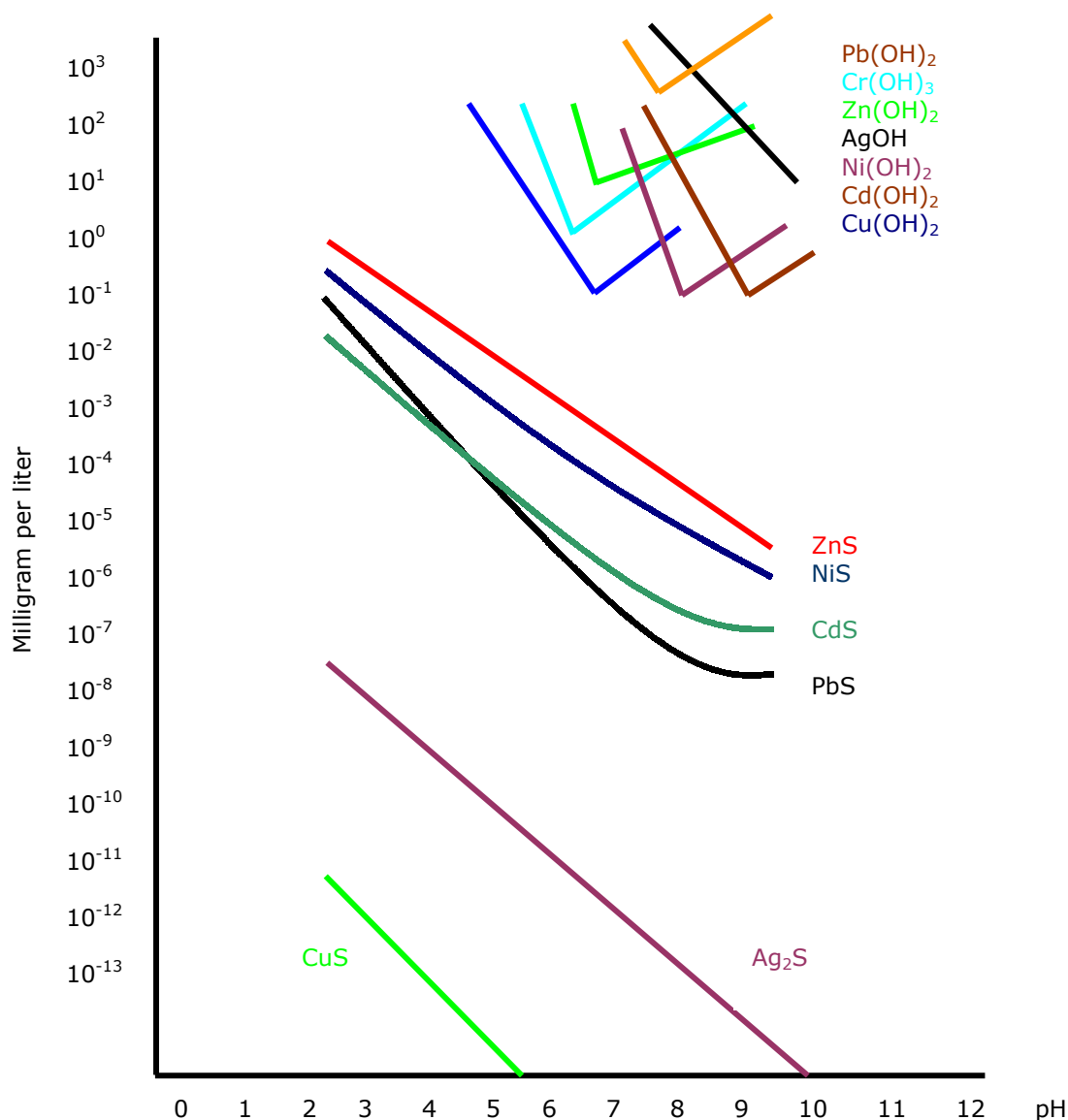
pH 8,5 – 10

De op afbeelding 4 weergegeven waterbehandeling, is een installatie die water loost.

Het water van de wassers komt de installatie binnen via de buffertank. Hier wordt de pH onmiddellijk opgevoerd naar circa 8,5. Vervolgens vindt in de tweede tank een verhoging van de pH plaats tot 10. Hier begint nu dus in twee stappen de precipitatie, ofwel het neerslaan van metaalionen.

De bedoeling van deze pH verhoging is om de oplosbaarheidsgrens van de bepaalde gevormde zouten te overschrijden. Dit kunnen dus bij het gebruik van natriumsulfide onoplosbare anorganische sulfiden zijn en bij het gebruik van TMT organische sulfiden.

Zie voor de oplosbaarheidproducten tabel 6.



Tabel 6. Oplosbaarheid tabel.

Oplosbaarheidsgrens

De gekozen pH-waarde van 10 blijkt dus juist te zijn, de oplosbaarheidsgrens van de meeste verbindingen wordt overschreden en ze slaan neer. Beter is het te zeggen dat het oplosbaarheidproduct overschreden wordt.

Opmerking:

Om Molybdeen af te vangen, of te doen neerslaan, is een pH van 3-4 noodzakelijk. Het benodigde ijzer(III) is via de verontreinigingen in het afvalwater reeds voldoende aanwezig.

8.5.1 Vreemde waterstromen

Als er vreemd water wordt aangeboden aan de afvalwaterbehandeling dan moet altijd eerst onderzocht worden of de afvalwaterbehandeling dit aan kan.

Let daarbij op

- pH
- concentraties zware metalen
- stoffen die normaal niet voorkomen in het afvalwaterbehandelingwater

Alle andere afvalwaterstromen die anders zijn dan tijdens normaal bedrijf, dienen geweerd te worden.

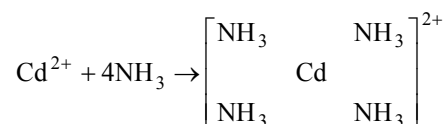
U dient er van uit te gaan dat "vreemde" afvalwaterstromen de goede werking van de installatie nadelig kan beïnvloeden.

Als er stoffen in het water zitten die vreemd zijn aan de afvalwaterbehandeling, verwerk deze stromen dan in eerste instantie niet in de afvalwaterbehandeling, voorbeeld: ammoniakwater.

Ammoniakzouten

Water waarin ammoniakzouten opgelost zijn dient uit de afvalwaterbehandelingstraat geweerd te worden. Ammoniakzouten hebben namelijk de eigenschap dat ze zogenaamde complexvormers zijn. Zware metaalionen (Me^{2+}) worden door NH_3 gecomplexeerd en als het ware afgeschermd voor OH^- ionen en slaan niet meer neer als $Me(OH)_2$.

Voorbeeld:



Voorbeelden van ammoniakzouten zijn bijvoorbeeld:

- Ammoniumchloride NH_4Cl
- Ammoniumsulfiet $(NH_4)_2SO_3$

Spoelwater van Actieve kool

Spoelwater van Actieve kool dient geweerd te worden uit de afvalwaterbehandelingstraat omdat Actieve kool het water alkalisch maakt, dit gaat zeer abrupt, het gevolg is dat de afvalwaterbehandelingstraat "van slag raakt" met eventueel emissieoverschrijdingen tot gevolg.

8.6 Het oplosbaarheidproduct

Evenwicht

Een slecht oplosbare elektrolyt heeft altijd nog een bepaalde hoeveelheid ionen in oplossing. In de oplossing heeft zich dan een evenwicht ingesteld tussen de gevormde vaste stof en de ionen in de oplossing. In een verzadigde oplossing van zilverchloride heeft men het volgende evenwicht:



De ligging van het evenwicht is overigens ook afhankelijk van de temperatuur van de oplossing.

De evenwichtvoorwaarde luidt:

Het oplosbaarheidproduct van een slecht oplosbare elektrolyt is de maximale waarde van het ionenproduct in een verzadigde oplossing.

En in formulevorm wordt dit:

$$K_s = (\text{Kat})^a \cdot (\text{An})^b$$

In deze formule is:

K_s	:	het oplosbaarheid product
(Kat)	:	de concentratie kationen
(An)	:	de concentratie anionen
a	:	de index bij de kationen
b	:	de index bij de anionen.

Voorbeeld 1:

Voor Magnesium hydroxide zou de evenwichtvoorwaarde als volgt luiden:

$$K_s = (\text{Mg}^{2+})^1 \cdot (\text{OH}^-)^2$$

De index a behorende bij het magnesium is 1 en de index b bij de OH ionen bedraagt 2.

Gevraagd:

Het oplosbaarheidproduct van Magnesiumhydroxide bedraagt $5,61 \cdot 10^{-12}$ bij een temperatuur van 25 °C.

Hoeveel Magnesiumhydroxide lost nu op in 1 liter water?

Oplossing:

We hebben in de oplossing het volgende evenwicht;



In een verzadigde oplossing geldt de evenwichtvoorwaarde:

$$K_s = (\text{Mg}^{2+})^1 \cdot (\text{OH}^-)^2$$

We nemen aan dat er p mol Mg(OH)_2 per liter oplost, in de oplossing zijn dan aanwezig, p mol Mg^{2+} ionen en dus $2p$ mol OH^- ionen. Ingevuld in de evenwichtformule levert dit:

$$K_s = (\text{Mg}^{2+})^1 \cdot (\text{OH}^-)^2$$

Dus:

$$5,61 \cdot 10^{-12} = (p)^1 \cdot (2p)^2$$

$$5,61 \cdot 10^{-12} = p(2p)^2$$

$$5,61 \cdot 10^{-12} = 4p^3$$

Waaruit volgt:

$$p = \sqrt[3]{\frac{5,61 \cdot 10^{-12}}{4}}$$

$$p = 1,11935 \cdot 10^{-4} \text{ mol per liter}$$

De molecuul massa van 1 mol Magnesiumhydroxide bedraagt:

$$24,3 + 2 \cdot 15,9994 + 2 \cdot 1,01 = 58,3188 \text{ gram}$$

Er lost dus:

$1,11935 \cdot 10^{-4} \cdot 58,3188 \cdot 10^3 = 6,52794$ milligram $\text{Mg}(\text{OH})_2$ op in 1 liter water.

In tabel 7 zijn een aantal veel voorkomende verbindingen met hun bijbehorende oplosbaarheidproducten weergegeven. De oplosbaarheidproducten zijn ontleend aan het periodiek systeem van VEL te Leuven.

Oplosbaarheidproducten VEL Leuven (Periodiek systeem)						
Metaal	Sulfiden	Oplosbaarheid product	Hydroxide	Oplosbaarheid product	TMT verbinding	Oplosbaarheid product
Kwik	HgS	$6,44 \cdot 10^{-53}$	Geen	-----	$\text{Hg}_3(\text{CNS})_2$	$1,4 \cdot 10^{-47}$
Cadmium	CdS	$1,4 \cdot 10^{-29}$	$\text{Cd}(\text{OH})_2$	$5,27 \cdot 10^{-53}$	$\text{Cd}_3(\text{CNS})_2$	$7,7 \cdot 10^{-33}$
Koper	CuS	$1,27 \cdot 10^{-36}$	$\text{Cu}(\text{OH})_2$	$2,0 \cdot 10^{-19}$	$\text{Cu}_3(\text{CNS})_2$	$1,3 \cdot 10^{-31}$
Lood	PbS	$9,04 \cdot 10^{-29}$	$\text{Pb}(\text{OH})_2$	$1,42 \cdot 10^{-20}$	$\text{Pb}_3(\text{CNS})_2$	$2,11 \cdot 10^{-5}$
Zink	ZnS	$2,93 \cdot 10^{-25}$	$\text{Zn}(\text{OH})_2$	$7,71 \cdot 10^{-17}$	$\text{Zn}_3(\text{CNS})_2$	Niet opgeg.

Tabel 7. Oplosbaarheid tabel, periodiek systeem.

Als we nu echter naar een zelfde tabel kijken maar nu volgens een fabrikant van chemicaliën, dan kunnen we bemerken dat er hier en daar wat verschillen zijn te vinden, zie hiervoor tabel 8.

Oplosbaarheidproducten						
Metaal	Sulfiden	Oplosbaarheid product	Hydroxide	Oplosbaarheid product	TMT verbinding	Oplosbaarheid product
Kwik	HgS	$4,0 \cdot 10^{-53}$	Geen	-----	$\text{Hg}_3(\text{CNS})_2$	$1,4 \cdot 10^{-47}$
Cadmium	CdS	$3,6 \cdot 10^{-29}$	$\text{Cd}(\text{OH})_2$	$1,3 \cdot 10^{-14}$	$\text{Cd}_3(\text{CNS})_2$	$7,7 \cdot 10^{-33}$
Koper	CuS	$8,5 \cdot 10^{-45}$	$\text{Cu}(\text{OH})_2$	$2,0 \cdot 10^{-19}$	$\text{Cu}_3(\text{CNS})_2$	$1,3 \cdot 10^{-31}$
Lood	PbS	$3,4 \cdot 10^{-28}$	$\text{Pb}(\text{OH})_2$	$3,6 \cdot 10^{-13}$	$\text{Pb}_3(\text{CNS})_2$	$3,6 \cdot 10^{-29}$
Zink	ZnS	Geen opgave	$\text{Zn}(\text{OH})_2$	Geen opgave	$\text{Zn}_3(\text{CNS})_2$	Geen

Tabel 8. Oplosbaarheid volgens een leverancier.

Kortom er zit toch een aardig verschil in beide tabellen. Wellicht is het in de praktijk beter de waarden uit het periodiek systeem te hanteren, deze is immers onafhankelijk.

Voorbeeld 2:

Stel nu dat er veel Cadmium in het water aanwezig is, dan kunnen we overwegen hier TMT aan toe te voegen of de overweging maken er kalkmelk aan toe te voegen. We zullen beide systemen met elkaar vergelijken.

Cadmium reageert met TMT tot $\text{Cd}_3(\text{CNS})_2$

Het oplosbaarheidproduct bedraagt volgens het periodiek systeem:

$$7,7 \cdot 10^{-33}.$$

De evenwichtvoorwaarde wordt nu:

$$K_s = (\text{Cd}^{2+})^3 \cdot (\text{CNS}^-)^2$$

We nemen aan dat er p mol $\text{Cd}_3(\text{CNS})_2$ per liter oplost, in de oplossing zijn dan aanwezig, $3p$ mol Cd^{2+} ionen en dus $2p$ mol CNS^- ionen. Ingevuld in de evenwichtformule levert dit:

$$K_s = (\text{Cd}^{2+})^3 \cdot (\text{CNS}^-)^2$$

Dus:

$$7,7 \cdot 10^{-33} = (3p)^3 \cdot (2p)^2$$

$$7,7 \cdot 10^{-33} = 27p^3 \cdot 4p^2$$

$$7,7 \cdot 10^{-33} = 108p^5$$

Waaruit volgt:

$$p = \sqrt[5]{\frac{7,7 \cdot 10^{-33}}{108}}$$

$$p = 1,48119 \cdot 10^{-7} \text{ mol per liter}$$

De molecuul massa van 1 mol $\text{Cd}_3(\text{CNS})_2$ bedraagt:

$$3 \cdot 112,4 + 2 \cdot 12,01 + 2 \cdot 14,01 + 2 \cdot 32,07 = 453,38 \text{ gram}$$

Er lost dus:

$$1,48119 \cdot 10^{-7} \cdot 453,38 \cdot 10^3 = 0,06715 \text{ milligram } \text{Cd}_3(\text{CNS})_2 \text{ op in } 1 \text{ liter water.}$$

We passen nu hetzelfde toe maar nu met kalkmelk.

Cadmium reageert met Ca(OH)_2 tot Cd(OH)_2

Het oplosbaarheidproduct bedraagt volgens het periodiek systeem:

$$5,27 \cdot 10^{-53}.$$

De evenwichtvoorwaarde wordt nu:

$$K_s = (\text{Cd}^{2+}) \cdot (\text{OH}^-)^2$$

We nemen aan dat er p mol Cd(OH)_2 per liter oplost. In de oplossing zijn dan aanwezig, p mol Cd^{2+} ionen en dus 2p mol OH^- ionen.

Ingevuld in de evenwichtformule levert dit:

$$K_s = (\text{Cd}^{2+}) \cdot (\text{OH}^-)^2$$

Dus:

$$5,27 \cdot 10^{-53} = p \cdot (2p)^2$$

$$5,27 \cdot 10^{-53} = p(2p)^2$$

$$5,27 \cdot 10^{-53} = 4p^3$$

Waaruit volgt:

$$p = \sqrt[3]{\frac{5,27 \cdot 10^{-53}}{4}}$$

$$p = 2,361838 \cdot 10^{-18} \text{ mol per liter}$$

De molecuul massa van 1 mol Cd(OH)_2 bedraagt:

$$1 \cdot 112,4 + 2 \cdot 15,99 + 2 \cdot 1,01 = 146,4 \text{ gram}$$

Er lost dus:

$$2,361838 \cdot 10^{-18} \cdot 146,4 \cdot 10^3 = 3,4577 \cdot 10^{-13} \text{ milligram Cd(OH)}_2 \text{ op in 1 liter water.}$$

De conclusie die hieruit getrokken kan worden is dat TMT hier overbodig is, maar dat kalkmelk een zeer goed en goedkoop alternatief is.

Uit bovenstaande blijkt dat het een zaak is goed te overwegen of men wel of geen dure chemicaliën gaat doseren, soms zijn goedkope middelen zeer doeltreffend.

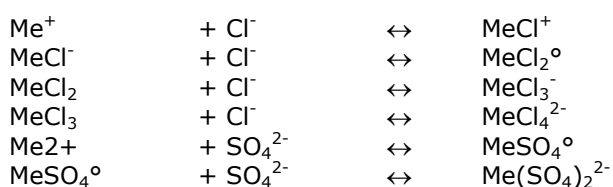
Conclusie:

Voor verwijdering van zware metalen hebben we minimaal twee belangrijke aandachtspunten:

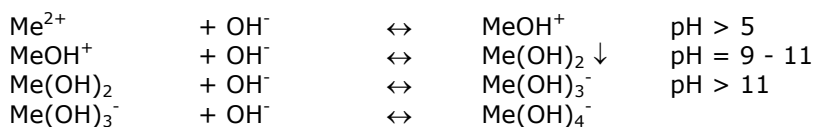
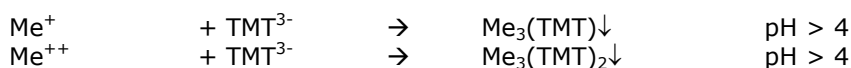
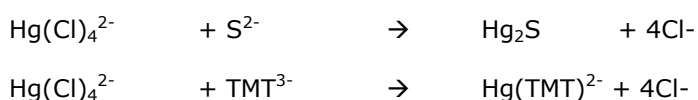
- Juiste pH
- Juiste keuze chemicaliën.

8.7 Chemische achtergronden

Rest ons nog een opsomming te geven van de reacties in de wassers en de waterzuivering te geven. Tevens wordt nog ingegaan op het gedrag van ijzer(II) en ijzer(III), dit is weliswaar een technische uiteenzetting, maar voor de volledigheid is deze toch vermeld.

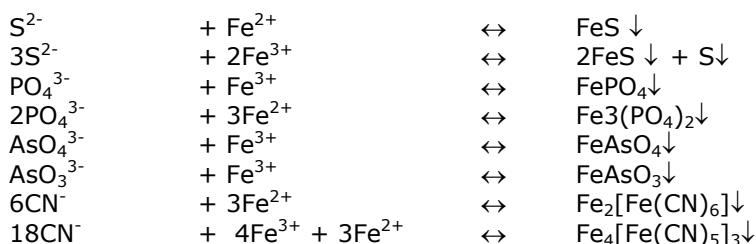
8.7.1 Reacties in wassers**8.7.2 Reacties in waterzuivering**

Bij verhoging van de pH worden de Cl^- en SO_4^{2-} anionen vervangen door OH^- -ionen. De reactie in de waterzuivering zijn dan:

**8.7.3 Neerslag van metalen met organosulfide****8.7.4 Neerslag van kwikzilver**

8.7.5 Gedrag en functies van ijzer(II) en ijzer(III)

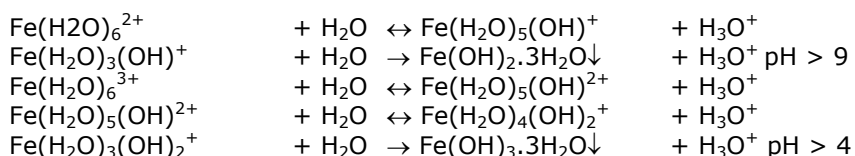
Neerslagreacties van anionen met ijzer (ferro en ferri):



Molybdeen

Zoals uit bovenstaande reactie blijkt, kan ijzer aangewend worden om de (toxische) anionen neer te slaan uit de oplossing. Opgemerkt wordt, dat met calciumionen ook slecht oplosbare zouten gevormd kunnen worden. Dit in tegenstelling tot natriumzouten die meestal goed oplosbaar zijn. Een voor de rookgasreiniging typisch voorbeeld is Molybdeen, dat als molybdaat in het waswater voorkomt en dus alleen met behulp van een kation als Fe^{3+} of Ca^{2+} kan worden neergeslagen.

Coagulant voor negatieve colloïden door hydrolyse, micro-vlokvorming:



Groen – Rood –bruin

De ijzer(II)- (groene oplossing) en ijzer(III)-zouten (rood/ bruine) oplossing reageren respectievelijk als een zeer zwak en een redelijk sterk zuur (zeer zwakke base). Ze vormen afhankelijk van de pH ijzerhydroxide complexen (positieve solen), die als coagulant voor negatief geladen colloïdale systemen kunnen functioneren. De dan ontstane aggregaten of microvlokken kunnen met een flocculant vergroot worden om zo de bezinkbaarheid te verbeteren. Dosering van ijzer(III) in zure oplossing ($\text{pH} < 4$) geeft een groene oplossing wat duidt op reductie van ijzer(III) tot ijzer(II), dat ook een (beperkte) coagulerende werking heeft. Dosering van ijzer(III) in een neutrale oplossing leidt tot neerslagreacties. Bij een pH van 9 of hoger wordt ijzer-(III) direct als hydroxide neergeslagen in de vorm van matig bezinkbare grote vlokken.

Hydrateren

IJzerhydroxide neerslagvorming:

Zoals uit bovenstaande reactievergelijking blijkt slaan, bij verhogen van de pH, de positief geladen ijzerhydroxide complexen neer als gehydrateerde hydroxiden. $Fe(OH)_2 \cdot 3H_2O$ is een witte, $Fe(OH)_3 \cdot 3H_2O$ is een roodbruine gelatineuze neerslag. Vanwege de stabilisatie door interactie met het oplosmiddel (hydrolyse) zijn de neerslagen zeer slecht bezinkbaar. Testen op het laboratorium wijst uit dat vooral bij doseren van loog in een zure ijzer-(II)/-(III) oplossing ter plaatse van het doseerpunt een zeer slecht bezinkbare neerslag ontstaat. Door de lokale pH verhoging rond het doseerpunt slaat het hydroxide reeds neer, terwijl de bulk van de oplossing nog zuur is.

