**Notitie / Memo**

**Haskoning Nederland B.V.**
**Water & Maritime**

| | |
|---|---|
| Aan: | ARN B.V. |
| Van: | Haskoning |
| Datum: | 8 juli 2026 |
| Kopie: | Click to enter "CopyTo" |
| Ons kenmerk: | BJ9767-HAS-XX-XX-ME-X-0001 |
| Classificatie: | Projectgerelateerd |
| Gecontroleerd door | Haskoning |

**Onderwerp:** **Bijlage W4 Kosteneffectiviteit maatregelen**

---

# 1 Kosteneffectiviteit verwijdering metalen

De kosteneffectiviteit van BBT-maatregelen is beschouwd voor de verwachting lozing vanuit de CCI. Hiervoor zijn de geloosde vrachten bepaald. In de immissietoets is gerekend met de worst-case uurvracht. De kosteneffectiviteit moet echter worden afgewogen tegen de jaarvracht. Het is daarbij niet reëel om uit te gaan van de in de immissietoets gebruikte piekconcentraties. Om het gemiddelde te kunnen berekenen, is een belangrijk aspect dat zeer regelmatig voor meerdere metalen de concentratie beneden de rapportagegrens ligt in de rookgassen. De emissiewaarden van de rookgassen zijn de basis voor de berekening van de lozingsconcentraties. Een complicatie hierbij is dat de rapportagegrens voor de meeste metalen (sterk) heeft gevarieerd. Om het gemiddelde te kunnen berekenen is de Baltussen-methode gevolgd. Hierbij wordt allereerst een “gemiddelde” rapportagegrens vastgelegd. Gebaseerd op deze “gemiddelde” rapportagegrens kan volgens de Volkert-Bakker (VB) methodiek de gemiddelde concentratie worden benaderd. Deze benadering is ook gebruikt in STOWA-onderzoek naar emissies van RWZI’s[1].

De literatuur[2] geeft aan dat de VB-methodiek bij een groot aantal metingen beneden de rapportagegrens (>80% van de meetreeks) naar een onderschatting van de lozingsconcentratie tendeert. Als alle metingen beneden de detectiegrens zijn, leidt de Volkert-Bakker methodiek zelfs tot een mogelijk niet realistische gemiddelde concentratie van 0 µg/l. Voor de doorrekening wordt nu uitgegaan van:

- Voor meetwaardes beneden de rapportagegrens wordt voor de berekening uitgegaan van 20% van de via de Baltussen-methode berekende rapportagegrens. Voor deze 20% is gekozen omdat de VB methode bij minder dan 20% van de analyses boven de detectiegrens tendeert naar een te lage waarde.
- De daadwerkelijke meetwaardes wegen gewoon voor 100% mee in de berekening.

In formulevorm wordt dit nu:

- $C_v = (0{,}2*n*C_B + (N-n)*C_m)/N$

  Waarin:
- $C_v$ = gemiddelde berekende concentratie [µg/l]
- $C_B$ = gemiddelde Baltussen rapportagegrens [µg/l]

[1] *Baltussen, J.J.M. (2010). Emissie onderzoek op een zestal rwzi’s in het kader van de E-PRTR. STOWA 2010-W07*
[2] *J. Post e.a (2020) Omgaan met rapportagegrenzen van concentratiemetingen. H2O-Online / 20 maart 2020*

- Cm = gemiddeld gemeten concentratie [µg/l]
- N = Totaal aantal metingen [ – ]
- n = Aantal metingen beneden rapportagegrens [ – ]

Als voorbeeld is deze berekening voor Antimoon uitgewerkt, met 5 meetwaardes boven de gemiddelde rapportagegrens. Met de voorgestelde berekening wordt dit:

$C_v$ = (0,2*7*0,69 + 5*0,9)/12 = 0,46 µg/l.

Bij de data set zijn nog wel enkele kanttekeningen te maken:

- Van arseen, cadmium en vanadium zijn alle metingen beneden de variabele rapportagegrens.
- Van koper en vooral thallium is de rapportagegrens met respectievelijk 2,7x en 5,1x regelmatig fors hoger ten opzichte van de wel gemeten concentraties.
- Van zink is maar één meetresultaat beschikbaar. Aangenomen is dat dit de gemiddelde concentratie is.
- Hierin wordt aangenomen dat 90% van de metalen uit de gasfase naar de vloeistoffase gaan. In werkelijkheid ligt dit percentage naar verwachting lager. In de immissietoets is zelfs worst-case met 100% gerekend. Voor kwik is dit percentage lager (<50%), omdat enkel de stofgebonden fractie naar de vloeistoffase zal gaan.

Deze berekening geeft per metaal de gemiddelde concentratie in het afgas. Om nu de te lozen jaarvracht te bepalen wordt nog uitgegaan van 8200 productie uren per jaar. Dit komt overeen met een gemiddeld gasdebiet van 163.000 $Nm^3$/uur in plaats van het maximum van 175.000 $Nm^3$/uur.
Dit levert een gemiddeld DCC debiet van 163.000/175.000*26 = 24,2 $m^3$/uur. Van dit debiet wordt 2 $m^3$/uur naar de zure wasser geleid. De resterende 22,2 $m^3$/uur (= 92%) wordt samen met RWZI effluent naar de koeltoren gevoerd. Van de koeltorenspui van 46 $m^3$/uur wordt 15 $m^3$/uur (ca. 33%) naar de bestaande AVI-wasser geleid en niet geloosd. Dit betekent dat uiteindelijk 92%*(1-33%) = 62% van de gemiddelde vracht wordt geloosd.

Met deze uitgangspunten zijn in onderstaande tabel de vrachten en de in redelijkheid te verlangen kosten voor BBT en BBT+ weergegeven. Hierbij is uitgegaan van een relatief hoog verwijderingsrendement van 80%. Een lager rendement is waarschijnlijk, gegeven de lage beginconcentraties. Daarnaast vormen de amphotere metalen zink en nikkel, samen al meer dan de helft van de vracht, waarvoor een rendement van 80% op voorhand optimistisch is.

| Metaal | Gasstroom | | Lozing | In rede te verlangen kosten | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | concentratie | Vracht | Vracht | Grondslag | *BBT | *BBT+ |
| | µg/Nm$^3$ | g/h | kg/jaar | €/kg$_{verw.}$ | €/jaar | €/jaar |
| Sb | 0.46 | 0.07 | 0.37 | | | |
| As | 0.20 | 0.03 | 0.16 | | | |
| Cr | 1.00 | 0.16 | 0.79 | | | |
| Co | 0.22 | 0.04 | 0.17 | | | |
| Cu | 0.42 | 0.07 | 0.33 | | | |
| Pb | 0.45 | 0.07 | 0.36 | | | |
| Mn | 0.17 | 0.03 | 0.14 | | | |
| Ni | 2.24 | 0.37 | 1.79 | | | |
| V | 0.16 | 0.03 | 0.13 | | | |
| Cd | 0.12 | 0.02 | 0.10 | | | |
| Tl | 0.21 | 0.03 | 0.17 | | | |
| Hg | 0.19 | 0.03 | 0.09 | | | |
| Zn | 0.87 | 0.14 | 0.90 | | | |
| Totaal | | 1.10 | 5.49 | | | |

**Betrokken op een aangenomen rendement van 80%. BBT+ is enkel voor de ZZS vermeld.*

Om deze kosten te kunnen kwantificeren is een grove raming van de kosten gemaakt bij toepassing van een coagulatie-bezinksysteem. Andere systemen zullen duurder zijn of maar één of enkele metalen preferent verwijderen (zoals ionenwisseling, welke in dezelfde ordegrootte zullen vallen qua kosten), een verdere uitwerking van de BBT-technieken is te vinden in de BBT-toets in bijlage M08. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gebruikt:

- Het geproduceerde slib kan worden verwerkt in de bestaande slibverwerking.
- Het systeem kan worden geplaatst in een bestaand gebouw.
- De raming is gebaseerd op kentallen.
- De nauwkeurigheid is +/- 50%.

Met deze uitgangspunten is berekend dat de jaarlijks te maken kosten ca. [redacted] zullen bedragen (zie tabel op de volgende bladzijde). Deze kosten zijn bijna een factor 4 – 25 hoger in vergelijking met de in redelijkheid te verlangen jaarkosten.

| Kostenpost | |
|---|---|
| M&E kosten zuivering | |
| Buffering (staal) | |
| Bijkomende kosten (engineering, BTW, inrichting) | |
| Civiele werken (fundering e.d) | |
| Onvolledigheid 30% | |
| Onvoorzien (20%) | |
| ---------- --- + | |
| Totale investeringen | |
| | |
| Annuiteit M&E 13% (Rente 5%, 10 jaar) | |
| Annuiteit civiel 8% (Rente 5%, 20 jaar) | |
| Kapitaalkosten | |
| Onderhoud | |
| Bediening 0.5 uur per dag | |
| Overige vaste operationele kosten | |
| ---------- --- + | |
| Totale vaste kosten => | |
| | |
| Voorzieningen (gas, elektriciteit, water, stoom etc.) | |
| Reststoffenverwerking/lozingsheffingen | |
| Chemicalien | |
| Onvolledigheid (25%) | |
| ---------- --- | |
| Totale variabele operationele kosten => | |
| | |
| Opbrengsten en besparingen => | |
| | |
| **Totale jaarlijkse kosten** | |

# 2 Kosteneffectiviteit ammoniak strippen

Het strippen van ammoniak is sterk pH-afhankelijk. De DCC wordt bedreven bij een pH van ca. 6. Bij deze pH wordt (minder dan) 50% van de ammoniak uit het rookgas gewassen. Bij een gemiddeld gasdebiet van 140.000 $Nm^3$/uur wordt dus maximaal 280 gram $NH_3$ per uur opgenomen in het condensaat. Bij een debiet van 20,8 $m^3$/uur betekent dit een concentratie van ca. 13 mg/l. Nu vindt de uiteindelijke lozing plaats als spui van de koeltoren. Deze koeltoren zal al een deel van de ammoniak strippen. Omdat de koeltoren bij een pH van 7,5 – 9 wordt bedreven is de stripping efficiënter dan de adsorptie in de DCC. Hier staat tegenover dat de relatief lage beginconcentratie de efficiency van het stripproces verminderd. Een rendement van 50% is denkbaar. Omdat, zoals in hoofdstuk 1, is uitgerekend dat ca. 40% van het effluent van de DCC niet wordt geloosd, blijft de ammoniumlozing beperkt tot 280*0,6*0,5 = 84 gram/uur. Een stripper direct achter de DCC zal alleen dan een hoger rendement bereiken als deze bij een sterk verhoogde pH wordt bedreven. De zeer lage beginconcentratie zal het rendement beperken tot ca. 70%. Het netto-effect wordt hiermee ca. 35 gram/uur (300 kg/jaar). De BBT-kosten voor ammonium zijn [redacted] De in redelijkheid te maken kosten worden hiermee ca. [redacted] De jaarlijkse kosten voor een stripper zullen >>20 maal hoger zijn en is daarmee niet kosteneffectief.