

**Emissieschattingen Diffuse bronnen  
EmissieRegistratie**

**Slijtage stroomafnemers en  
bovenleidingen  
spoorwegen**

Versie juni 2025

Factsheet inhoudelijk gecontroleerd. De gepresenteerde methode voor emissieberekening van de genoemde emissieoorzaken in deze factsheet is actueel, maar vanaf 2017 worden de nieuwe emissiecijfers niet meer toegevoegd. Ga voor de meest recente emissiecijfers naar de website van EmissieRegistratie ([www.emissieregistratie.nl](http://www.emissieregistratie.nl)).

In opdracht van RIJKSWATERSTAAT – WVL  
Uitgevoerd door DELTARES in samenwerking met TNO

# Slijtage stroomafnemers en bovenleidingen spoorwegen

## 1 Omschrijving emissiebron

Een belangrijk deel van de treinen, trams en metro's wordt elektrisch voortbewogen. De elektriciteit wordt geleverd via koperen bovenleidingen, welke door de voertuigen via stroomafnemers wordt afgenomen. Het deel dat hierbij contact maakt met de bovenleiding (het sleepstuk) bestaat voornamelijk uit koolstof, met daarin verwerkt koper en lood. Tijdens het rijden slijten zowel de bovenleidingen (vonkerosie bovenleidingen) als de sleepstukken van de stroomafnemers. Deze slijtage leidt tot een emissie van koper, lood en fijn stof. De emissiebron wordt toegerekend aan de doelgroep Verkeer en vervoer.

## 2 Toelichting berekeningswijze

De emissies worden berekend door de vermenigvuldiging van een emissieverklarende variabele (EVV), hier het elektriciteitsverbruik voor elektrisch voortbewogen trams, metro's en treinen, met een emissiefactor (EF), uitgedrukt in grammen emissie per eenheid energieverbruik. Deze berekeningswijze is uitgebreid toegelicht in de Handreiking Regionale aanpak diffuse bronnen [1].

$$\text{Emissie} = \text{EVV} * \text{EF}$$

Waarbij:

EVV = Elektriciteitsverbruik (kWh)

EF = Emissiefactor per kWh (kg/kWh)

## 3 Emissieverklarende variabele

De emissieverklarende variabele is het elektriciteitsverbruik. Dit is een afgeleide methode. In eerste instantie is het aantal stroomafnemerkilometers met contact gebruikt als EVV. Deze stroomafnemerkilometers zijn echter niet altijd beschikbaar. Om die reden is het aantal kWh als afgeleide variabele aangenomen. Het elektriciteitsverbruik voor elektrisch voortbewogen trams, metro's en treinen wordt geregistreerd door het CBS en staat weergegeven in tabel 1.

Tabel 1: Elektriciteitsverbruik van elektrisch voortbewogen treinen, trams en metro's in Nederland (mln kWh).

|                    | 1990  | 1995  | 2000  | 2005  | 2010  | 2013  | 2014  |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| spoorwegen         | 1 082 | 1 278 | 1 414 | 1 360 | 1 450 | 1 411 | 1 335 |
| tram/metro/trolley | 191   | 195   | 211   | 243   | 273   | 306   | 311   |

## 4 Emissiefactoren

De emissiefactoren voor koper, lood en fijn stof zijn gebaseerd op onderzoek door NS Centrum voor Technisch Onderzoek (CTO) [2,3] uit 1992. Deze schatten de totale koperemissie in 1992 in zoals weergegeven in tabel 2. Deze schatting is gebaseerd op waargenomen slijtage van bovenleidingen en stroomafnemers, waarbij is aangenomen dat een bovenleiding voor 100% uit koper bestaat en de stroomafnemers 25% koper en 10% lood bevatten.

De vorming van fijn stof in de totale hoeveelheid slijtagedeeltjes wordt door TNO geschat op 20% van de totale slijtage [4]. Voor de bovenleidingen en stroomafnemers worden de emissies van fijn stof op verschillende manieren berekend, gebaseerd op de berekende koperemissies:

- Bovenleidingen bestaan volledig uit koper en de emissie van fijn stof is dus 20% van de koperemissie. Daarbij is 20% van de emissie van koper tevens fijn stof (zie tabel 2). In de cijfers zoals opgenomen in tabel 2 zit dus een overlap. In de EmissieRegistratie zijn geen dubbeltellingen opgenomen.

- De stroomafnemers bestaan voor 25% uit Cu en 10% lood. De totale massaslijtage is 4 keer de emissie van koper; 20% van de totale weggesleten massa komt vrij als fijn stof, dus de fijn stof-emissie is  $4/5^e$  van de koperemissie; Ook hier geldt dat 20% van de emissie van koper en lood tevens een emissie van fijn stof is. De loodemissie is  $2/5$  van de koperemissie. Dit betekent dat  $(2/5 * 1/4) = 1/10$  van het fijn stof uit lood bestaat. Behalve uit koper en lood bestaat het fijn stof dat vrijkomt bij slijtage van de stroomafnemers ook uit andere stoffen. Binnen de EmissieRegistratie vinden op dit punt geen dubbeltellingen plaats.

Bij een totaal stroomverbruik in 1992 van  $1200 \cdot 10^6$  kWh voor treinen en  $186 \cdot 10^6$  kWh voor trams en metro's levert dit de emissiefactoren uit tabel 2 op. N.B: voor trams en metro's zijn geen emissies als gevolg van slijtage stroomafnemers gedefinieerd.

Tabel 2: Emissiefactoren elektrisch voortbewogen treinen, trams en metro's in Nederland.

| stof                                                                      | emissie in 1992 (kg) | emissiefactor (mg/kWh) |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------|
| <i>slijtage bovenleidingen treinen (vonkerosie bovenleidingen)</i>        |                      |                        |
| koper                                                                     | 20 700               | 17.3                   |
| fijn stof (PM <sub>10</sub> ) <sup>1)</sup>                               | 4 100                | 3.4                    |
| <i>slijtage stroomafnemers treinen</i>                                    |                      |                        |
| koper                                                                     | 3 000                | 2.5                    |
| lood                                                                      | 1 200                | 1.0                    |
| fijn stof (PM <sub>10</sub> ) <sup>1)</sup>                               | 2 400                | 2.0                    |
| <i>slijtage bovenleidingen trams, metro's (vonkerosie bovenleidingen)</i> |                      |                        |
| koper                                                                     | 2 500                | 13.4                   |
| fijn stof (PM <sub>10</sub> ) <sup>1)</sup>                               | 500                  | 2.7                    |

<sup>1)</sup> 20% van de totale emissie bestaat uit fijn stof. In deze tabel wordt de emissie van fijn stof van koper en lood dubbel geteld. Bijvoorbeeld bij de slijtage van bovenleidingen kwam 2500 kg koper vrij in 1992. Dit bestaat voor 500 kg uit fijn stof. Deze 500 kg wordt bij de koper emissie en bij de fijn stof emissie genoemd.

Burkhardt et al (2008) [5] hebben onderzoek gedaan naar emissies van zware metalen door het treinverkeer in Zwitserland bij de SBB (Schweizerische Bundesbahnen) in 2003, hierbij gebruik makend van een aantal interne documenten van de SBB. Zij vinden voor koper een emissie uit bovenleidingen van 38 ton in 2003, omgerekend naar een emissiefactor van 6,48 kg/km. Aangezien het stroomverbruik volgens het UVEK [6] in de jaren 2001, 2002 en 2003  $2,3 \cdot 10^9$  kWh was – en deze waarden komen overeen met het stroomverbruik gerapporteerd door Brunner in 2001 [7] - is de emissiefactor per verbruik van vermogensseenheid 16,5 mg/kWh. Dit is sterk in overeenkomst met de gevonden emissiefactor van 17,3 mg/kWh bij de NS en deze waarde zal daarom in stand worden gehouden voor de berekening van de emissies.

## 5 Maatregelen en effecten

Er zijn geen effecten van maatregelen bekend.

## 6 Emissies

De resultaten van de berekeningen staan in tabel 3.

Tabel 3: Emissies van bovenleidingen en stroomafnemers (in kg/jaar).

|                                                                           | 1990   | 1995   | 2000   | 2005   | 2010   | 2013   | 2014   |
|---------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <i>slijtage bovenleidingen treinen (vonkerosie bovenleidingen)</i>        |        |        |        |        |        |        |        |
| koper                                                                     | 18 719 | 22 109 | 24 462 | 23 528 | 25 085 | 24 410 | 23 096 |
| fijn stof (PM <sub>10</sub> )                                             | 3 679  | 4 345  | 4 808  | 4 624  | 4 930  | 4 797  | 4 539  |
| <i>slijtage stroomafnemers treinen</i>                                    |        |        |        |        |        |        |        |
| koper                                                                     | 2 705  | 3 195  | 3 535  | 3 400  | 3 625  | 3 528  | 3 338  |
| lood                                                                      | 1 082  | 1 278  | 1 414  | 1 360  | 1 450  | 1 411  | 1 335  |
| fijn stof (PM <sub>10</sub> )                                             | 2 164  | 2 556  | 2 828  | 2 720  | 2 900  | 2 822  | 2 670  |
| <i>slijtage bovenleidingen trams, metro's (vonkerosie bovenleidingen)</i> |        |        |        |        |        |        |        |
| koper                                                                     | 2 559  | 2 613  | 2 827  | 3 256  | 3 658  | 4 100  | 4 167  |
| fijn stof (PM <sub>10</sub> )                                             | 516    | 527    | 570    | 656    | 737    | 826    | 840    |

## 7 Verdeling compartimenten

De verdeling van de emissies over de compartimenten staan vermeld in tabel 4. De emissies van fijn stof gaan voor 100% naar de lucht. 20% van de emissies van Cu en Pb komt vrij als fijn stof en voor deze 20% wordt aangenomen dat het een emissie naar de lucht is (dus 100% van het fijne stof betreft een emissie naar de lucht). Het overige deel van de emissies (het grovere stof) komt in de bodem of het riool terecht of blijft op de trein, tram of metro achter en wordt opgevangen in de wasinstallaties.

Trams en metro's rijden vooral binnen de bebouwde kom. Het deel van de emissies naar bodem of riool gaat daar vooral naar het riool; treinen rijden vooral buiten de bebouwde kom en als gevolg daarvan komen deze emissies vooral in de bodem terecht.

In de tabellen 5 t/m 8 zijn de emissies naar lucht, bodem, oppervlaktewater en het rioolstelsel weergegeven. De emissies naar koper betreffen zowel de emissie door slijtage van stroomafnemers als vonkerosie van bovenleidingen.

Tabel 4: Verdeling emissies over de compartimenten.

|             | stof             | aan trein | lucht | bodem | oppervlaktewater (direct) | riool (indirect naar water) |
|-------------|------------------|-----------|-------|-------|---------------------------|-----------------------------|
| trein       | koper/lood       | 10%       | 20%   | 65.6% | 4.4%                      | 0%                          |
|             | PM <sub>10</sub> | 0%        | 100%  | 0%    | 0%                        | 0%                          |
| tram, metro | koper            | 10%       | 20%   | 0%    | 0%                        | 70%                         |
|             | PM <sub>10</sub> | 0%        | 100%  | 0%    | 0%                        | 0%                          |

Tabel 5: Emissies naar de lucht (in kg)\*.

|                  | 1990  | 1995  | 2000  | 2005  | 2010  | 2013  | 2014  |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| koper            | 4 797 | 5 583 | 6 165 | 6 037 | 6 474 | 6 408 | 6 120 |
| lood             | 216   | 256   | 283   | 272   | 290   | 282   | 267   |
| PM <sub>10</sub> | 6 359 | 7 428 | 8 205 | 8 000 | 8 567 | 8 446 | 8 049 |

Tabel 6: Emissies naar de bodem (in kg).

|       | 1990   | 1995   | 2000   | 2005   | 2010   | 2013   | 2014   |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| koper | 14 054 | 16 600 | 18 366 | 17 665 | 18 834 | 18 327 | 17 340 |
| lood  | 710    | 838    | 928    | 892    | 951    | 926    | 876    |

Tabel 7: Directe emissies naar oppervlaktewater (in kg).

|       | 1990 | 1995  | 2000  | 2005  | 2010  | 2013  | 2014  |
|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| koper | 943  | 1 113 | 1 232 | 1 185 | 1 263 | 1 229 | 1 163 |
| lood  | 48   | 56    | 62    | 60    | 64    | 62    | 59    |

Tabel 8: Emissies naar rioleringsstelsel (in kg)\*\*.

|       | 1990  | 1995  | 2000  | 2005  | 2010  | 2013  | 2014  |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| koper | 1 792 | 1 829 | 1 979 | 2 279 | 2 561 | 2 870 | 2 917 |

\* = getallen wijken af van getallen op [www.EmissieRegistratie.nl](http://www.EmissieRegistratie.nl)

\*\* = emissies staan niet op [www.EmissieRegistratie.nl](http://www.EmissieRegistratie.nl)

## 8 Emissieroutes via riool naar naar water

Emissies naar water vinden indirect plaats door emissies uit het rioleringsstelsel, via overstorten, effluënten van RWZI's. In de factsheet "Effluënten RWZI's, regenwaterriolen, niet aangesloten riolen, overstorten en IBA's" wordt dit verder beschreven.

## 9 Regionalisatie

Voor de regionale verdeling van emissies wordt binnen de EmissieRegistratie gebruik gemaakt van een set van digitale kaarten, welke aanwezig is bij het RIVM. Deze set geeft de regionale verdeling in Nederland weer van allerlei grootheden, zoals de bevolkingsdichtheid, verkeersintensiteit, landbouwactiviteiten, etc. Binnen de EmissieRegistratie worden deze kaarten gebruikt als 'lokator' om de regionale verdeling van emissies vast te stellen. De set aan mogelijke lokatoren is beperkt (voor een overzicht van beschikbare lokatoren zie [9]), dus kan niet iedere denkbare grootheid als lokator

worden toegepast. Daarom wordt die lokator gebruikt, waarvan wordt aangenomen dat hij het beste correleert met de emissie.  
De verdeling van emissies over Nederland wordt aangenomen gelijk te zijn aan de verdeling van de lokator over Nederland.

In onderstaande tabel staat voor de verschillende emissieoorzaken de lokator weergegeven, waarmee emissies worden geregionaliseerd.

Tabel 9: Overzicht van wijze van regionalisatie van emissies

| Onderdeel          | Lokatoren                                         |
|--------------------|---------------------------------------------------|
| spoorwegen         | Verkeersintensiteit op elektrische spoorwegvakken |
| tram/metro/trolley | Verkeersintensiteit van trams                     |

De wijze waarop de lokatoren tot stand komen wordt beschreven in [9]:

#### *Verkeersintensiteit op elektrische spoorwegvakken*

De verkeersintensiteit op elektrische spoorwegvakken is afkomstig van de kaart: 'toedeling naar spoorwegvak'. Gegevens over de ligging van de spoorwegvakken en de bijbehorende intensiteiten worden betrokken via MNP-Leef- en Omgevingskwaliteit (LOK), maar zijn afkomstig van ProRail. Het gaat hier om het databestand ASWIN (het vroegere 'Akoestisch Spoorboekje'). Deze informatie wordt jaarlijks verzameld, met als hoofddoel het mogelijk maken van geluidsberekeningen. Daartoe zijn naast intensiteiten ook gegevens aanwezig over o.a. geluidsbelasting per traject, snelheid en aanwezigheid van geluidsschermen. Bij het verdelen van de intensiteiten wordt onderscheid gemaakt tussen geëlektrificeerd en niet geëlektrificeerd spoor. Deze gegevens zijn afkomstig van een door CBS in 2005 gemaakt bestand.

## 10 Opmerkingen/wijzigingen ten opzichte van voorgaande jaren

De berekeningsmethodiek is niet gewijzigd ten opzichte van eerdere publicaties, zoals [10].

Originele factsheet:

Klein, J. (CBS), H. Oonk (TNO), J. Hulskotte (TNO); Slijtage stroomafnemers en bovenleidingen spoorwegen; november 2007.

## 11 Betrouwbaarheid/verbeterpunten

Aan elk onderdeel van de emissieberekening is een betrouwbaarheid toegekend. De volgende betrouwbaarheidspercentages zijn hierbij gehanteerd: 1%, 5%, 10%, 25%, 50%, 100%, 200% en 400%. Een betrouwbaarheid van 1% wil zeggen dat het desbetreffende onderdeel zeer betrouwbaar is; een betrouwbaarheid van 400% betekent een grote onzekerheid in het desbetreffende onderdeel. Alle percentages ertussen geven van laag naar hoog een steeds kleinere betrouwbaarheid en een grotere onzekerheid. Voor elk van de onderdelen is de betrouwbaarheid ingeschat door een groep experts. Hierbij zijn onder andere de volgende punten in overweging genomen:

- Metingen: zijn er metingen beschikbaar? Om hoeveel metingen gaat het? Zijn ze recent, realistisch en representatief? Hoe groot is de variatie?
- Als er geen metingen voorhanden zijn: is er veel literatuur of zijn er andere informatiebronnen beschikbaar?
- Als de emissie d.m.v. een model wordt verkregen: wat is de schaal van het model en is het model gevalideerd?
- Aannames: moeten er veel aannames gedaan worden en hoe groot zijn die?
- Regionalisatie: geeft de EVV een goed beeld van de ruimtelijke verdeling van de bron? Hoe groot is de variatie van de emissie in de ruimte en kan deze variatie door de EVV wel goed over Nederland verdeeld worden?

De berekening van de emissiefactoren is gebaseerd op uitvoerig onderzoek, maar bevat ook een aantal aannames, het betrouwbaarheidspercentage wordt daarom geschat op 50%. De emissieverklarende variabele is zeer nauwkeurig te monitoren. Echter de gekozen EVV is mogelijk niet de beste EVV voor slijtage en heeft daarom een betrouwbaarheidspercentage van 10%. De

verdeling van de emissies over de verschillende compartimenten is geclassificeerd met een betrouwbaarheidspercentage van 25%, aangezien ook hier een aantal aannames zijn gemaakt. De emissieroutes via riool naar water krijgen een betrouwbaarheidspercentage van 10%, zoals beschreven in de factsheet van de berekende effluenten RWZI's [11]. De regionalisatie van de emissies is gebaseerd op de verkeersintensiteit op de spoorwegen. Het is onzeker of dit de juiste wijze is om te regioanliseren, aangezien intensiteit niet alles zegt over slijtage. Het betrouwbaarheidspercentage is daarom 50%.

| Onderdeel emissieberekening        | Betrouwbaarheidsclassificatie |
|------------------------------------|-------------------------------|
| Emissieverklarende variabele       | 10 %                          |
| Emissiefactoren                    | 50 %                          |
| Verdeling compartimenten           | 25 %                          |
| Emissieroutes via riool naar water | 10 %                          |
| Regionalisatie                     | 50%                           |

## 12 Reacties

Voor vragen naar aanleiding van dit werkdocument of opmerkingen kan contact worden opgenomen met [emissieregistratie@deltares.nl](mailto:emissieregistratie@deltares.nl).

## 13 Referenties

- [1] CIW/CUWVO werkgroep VI, februari 1997. Handreiking Regionale aanpak diffuse bronnen. Bijlage 1, par 2.2.
- [2] NS-CTO, 1992. Project koperemissies spoorwegverkeer (drie delen), NS-CTO, Utrecht.
- [3] Task Force on Transportation of the Dutch Pollutant Release and Transfer Register, 2015. Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands. Statistics Netherlands, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, TNO, RWS Centre for Transport and Navigation (WVL).
- [4] Coenen P., Hulskotte J.. Onderzoek naar de emissies naar oppervlaktewater van railverkeer in de provincie Zuid-Holland, TNO-rapport R98/187, TNO-Apeldoorn
- [5] Burkhardt, M., Rossi, L., Boller, M., 2008. Diffuse release of environmental hazards by railways. Desalination 226; 106-113.
- [6] Schweizerische Eidgenossenschaft (Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK) – Der Energieverbrauch des Verkehrs 1990 – 2035; Ergebnisse der Szenarien I bis IV end der zugehörigen Sensitivitäten “BIP hoch”, “Preise hoch” und “Klima warmer”, 2007.
- [7] Brunner, C., 2001. Energieverbrauch im Schienenverkehr; Bericht über die Kurzstudie, im Auftrag des Bundesamtes für Energie.
- [8] Molder, R. te, 2007. Notitie ruimtelijke verdeling binnen de EmissieRegistratie. Een overzicht.
- [9] Most, P.F.J. van der, van Loon, M.M.J., Aulbers, J.A.W. en van Daelen, H.J.A.M., juli 1998. Methoden voor de bepaling van emissies naar lucht en water. Publicatiereeks EmissieRegistratie, nr. 44.
- [10] Rijkswaterstaat WVL, 2015. Effluenten RWZI's, regenwaterriolen, niet aangesloten riolen, overstorten en IBA's, factsheet diffuse bronnen, mei 2015.