

Afdeling I – Risico's voor de mens

1. Berekeningswijze

1.1. Verdeling van een gegeven verontreiniging tussen de verschillende bodemfasen

De verdeling van een gegeven stof tussen de verschillende bodemfasen (water, lucht en vast deel) gebeurt volgens de fugaciteitstheorie van Mackay

De fugaciteitsconstanten voor water, lucht en vaste fase dienen volgens de volgende formules te worden berekend:

$$Z_L = \frac{1}{R \cdot T}$$

$$Z_w = \frac{S}{V_p}$$

$$Z_s = \frac{K_d \cdot SD \cdot Z_w}{V_s}$$

Met:

- Z_L = fugaciteitsconstante lucht ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{Pa}^{-1}$)
- Z_w = fugaciteitsconstante water ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{Pa}^{-1}$)
- Z_s = fugaciteitsconstante vaste deel (grond) ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{Pa}^{-1}$)
- R = gasconstante ($8,3145 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$)
- T = temperatuur ($^{\circ}\text{K}$)
- S = oplosbaarheid ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$)
- V_p = dampdruk (Pa)
- K_d = partiticoëfficiënt bodem / water ($\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} / \text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$)
- SD = bulkdichtheid van de grond (kg droge grond / dm^3 vochtige grond)
- V_s = volumefractie vaste fase (-)

De algemene vergelijking voor de verdeling in de verschillende bodemfasen wordt als volgt weergegeven:

$$V_L + V_S + V_W = 1$$

Met :

- V_L = fractie bodemlucht (-)
- V_w = fractie bodemwater of vocht (-)
- V_s = fractie bodempartikels of vaste fase (-)

De massafracties voor de verschillende bodemfasen dienen berekend te worden door middel van de volumes en de fugaciteitsconstanten. Voor de 3 bodemfasen zullen volgende formules worden gehanteerd:

$$P_L = \frac{Z_L \cdot V_L}{Z_L \cdot V_L + Z_V \cdot V_V + Z_S \cdot V_S}$$

$$P_V = \frac{Z_V \cdot V_V}{Z_L \cdot V_L + Z_V \cdot V_V + Z_S \cdot V_S}$$

$$P_S = \frac{Z_S \cdot V_S}{Z_L \cdot V_L + Z_V \cdot V_V + Z_S \cdot V_S}$$

Met:
 P_L = massafractie in bodemlucht (-)
 P_V = massafractie in bodemwater (-)
 P_S = massafractie in vaste deel (-)
 V_S = volume fractie vaste fase (-)
 V_V = volume fractie bodemwater (-)
 V_L = volume fractie bodemlucht (-)

Vanuit de totale bodemconcentratie worden de concentratie in bodemlucht en bodemwater als volgt berekend:

$$C_{SL} = \frac{C_t \cdot SD \cdot P_L}{V_L}$$

$$C_{SV} = \frac{C_t \cdot SD \cdot P_V}{V_V}$$

Met:
 C_t = totale bodemconcentratie (mol.kg⁻¹ ds of mg.kg⁻¹ ds)
 C_{SL} = concentratie in bodemlucht (mol.dm⁻³ of g.m⁻³)
 C_{SV} = concentratie in bodemwater (kg droge grond / dm³ natte grond)
 P_L = massafractie bodemlucht (-)
 P_V = massafractie bodemwater (-)
 V_L = volumefractie bodemlucht (-)
 V_V = volumefractie bodemwater (-)

1.2. *Transfer van een gegeven verontreiniging vanuit de bodemfasen naar de verschillende transportwegen*

1.2.1. Transport naar het bodemoppervlak en verdunning in binnen- en buitenlucht

A. Diffusieflux van bodem naar grondoppervlak

Voor het berekenen van deze diffusieflux dient de eerste wet van Fick te worden toegepast die als volgt wordt geformuleerd:

$$J = D \cdot dc/dz$$

J: de diffusieflux [g/m².h]
D: de diffusiecoëfficiënt [m²/h]
dc/dz: de concentratiegradiënt [g/m³] / [m]

of

$$J = D \cdot C/L$$

J: de diffusieflux [g/m².h]
D: de diffusiecoëfficiënt [m²/h]
C: de maximale concentratie [g/m³]
L: de diffusielengte [m]

Voor elk van de bovenstaande fluxen dient de formule te worden berekend op basis van de geschikte diffusiecoëfficiënt en de relevante diepte.

De diffusiecoëfficiënten in vrije lucht dienen te worden berekend op basis van de wet van Graham (Sawyer en Mc Carty, 1998). De effectieve diffusiecoëfficiënten worden berekend met de Millington-Quirk vergelijking (Juri et al; 1983).

B. Waterverdampingsflux

Deze flux wordt als volgt berekend:

$$J = C_{pw} \cdot E_v/24$$

J : de waterverdampingsflux [g/m².h]
 C_{pw} : de concentratie in het poriewater [g/m³]
 E_v : de evaporatieflux [m/d]

1.2.2. Transport naar drinkwater via permeatie in drinkwaterleidingen

De concentratie in het drinkwater wordt als volgt berekend:

$$C_{wp} = 2 \cdot (D_p \cdot C_{pw} \cdot dt/24) \cdot (\pi \cdot r^2 \cdot L) / (Q_{dw} \cdot r \cdot d_e)$$

C_{wp} :	concentratie in leidingwater ten gevolge van permeatie [g/m ³]
D_p :	permeatiecoëfficiënt [m ² /d]
C_{pw} :	concentratie in poriewater ter hoogte van de leiding [g/m ³]
dt :	stagnatietijd in leiding [h]
r :	interne straal van de leiding [m]
L :	lengte beschikbaar voor permeatie [m]
Q_{dw} :	dagelijks drinkwaterverbruik [m ³ /d]
d_e :	dikte van de leidingwand [m]

1.2.3. Transport naar planten

De concentraties in wortels en stengels worden berekend met behulp van de bioconcentratiefactor (BCF-factor). Voor stengels wordt deze concentratie op volgende wijze berekend:

$$C_{st} = BCF_{st} \times C_t$$

Met :

C_{st} :	concentratie in de stengel op vers gewicht [mg/kg vg]
BCF_{st} :	bioconcentratiefactor op vers gewicht [kg vg/kg ds]
C_t :	concentratie in de bodem [mg/kg d.s.]

Voor de knolgewassen wordt deze concentratie berekend op basis van de bioconcentratiefactor voor de wortel.

1.3. Directe en indirecte blootstelling

1.3.1. Ingestie van grond en bodempartikels (stof)

De ingestie van grond wordt berekend op basis van de volgende vergelijking:

$$DU_{bodem} = C \cdot AID \cdot f_{a_{ing}} / W$$

DU_{bodem} :	inname via ingestie van grond of stof [mg/kg lw.dag]
C :	concentratie in de grond of stof [mg/kg d.s.]
AID :	ingestie van bodemdeeltjes [kg/d]
$f_{a_{ing}}$:	fractie geabsorbeerd bij ingestie [-]
W :	lichaamsgewicht [kg]

De ingestie van bodempartikels wordt als volgt berekend:

$$DU_{stof} = DU_{bodem} \cdot f_{rsi}$$

f_{rsi} : fractie bodem in de binnenstof

1.3.2. Dermaal contact met grond en bodempartikels

Voor de organische stoffen wordt de inname via dermaal contact met grond berekend op basis van de absorptiefactor, de bedekkingsgraad van het blootgestelde huidoppervlak en de beschikbaarheid van de bodemdeeltjes (matrixfactor):

$$DA = C \cdot DAE \cdot DAR \cdot A_{exp} \cdot t \cdot f_m / W$$

DA :	inname via dermaal contact van grond of stof [mg/kg lw.dag]
C :	concentratie in de grond of stof [mg/kg d.s.]
DAE :	huidbedekking met bodem of stof [kg/m ²]
DAR :	dermale absorptiesnelheid [m/h]
f_m :	matrixfactor
A_{exp} :	oppervlakte armen, handen,...
W :	lichaamsgewicht [kg]
t :	tijdsfractie op de locatie [d]

1.3.3. Inhalatie van grond en bodempartikels (stof)

De inname via inhalatie van grond en bodempartikels wordt berekend met volgende vergelijking:

$$IP = C \cdot VA \cdot TSP \cdot f_r \cdot fa_{inh} / W$$

IP: inname via inhalatie van grond of stof [mg/kg lw.dag]
C: concentratie in de grond of stof [mg/kg d.s.]
VA: ademvolume [m³/d]
f_r: fractie in de long weerhouden [-]
fa_{inh}: fractie geabsorbeerd bij inhalatie [-]
W: lichaamsgewicht [kg]
TSP: hoeveelheid gesuspendeerde deeltjes in de lucht

1.3.4. Inhalatie van vluchtige stoffen

De inhalatie is voornamelijk afhankelijk van de concentratie in lucht en het ademvolume. De inname via inhalatie wordt als volgt berekend:

$$IV = C \cdot VA \cdot 1000 \cdot t \cdot fa_{inh} / W$$

IV : inname via inhalatie van damp [mg/kg lw.dag]
C : concentratie in de lucht [g/m³]
VA : ademvolume [m³/d]
fa_{inh} : fractie geabsorbeerd bij inhalatie
W : lichaamsgewicht [kg]

1.3.5. Ingestie via drinkwater

De inname via ingestie van drinkwater wordt berekend op basis van de concentratie in het water, de gebruikte hoeveelheid water en de verblijfstijd op de locatie. De drinkwaterconsumptie is 2 liter per dag voor volwassenen en 1 liter per dag voor kinderen. Deze inname wordt als volgt berekend:

$$DU_w = t \cdot C_{dw} \cdot Q_w \cdot fa_{ing} / W$$

DU_w = inname via verbruik van drinkwater [mg/kg.ds]
Q_w = verbruik van drinkwater [l/d]

1.3.6. Ingestie via gewassen

De ingestie via planten wordt op volgende wijze berekend:

$$VI = C_{pt} \times f_{fv} \times Q_{fv} \times fa_{ing} / W$$

Met
VI: inname via verbruik van groenten [mg/kg lw.dag]
C_{pt}: concentratie in de plant (vers gewicht) [g/m³]
f_{fv}: fractie verontreinigde groenten [-]
Q_{fv}: verbruik van groenten [kg vs/d]
fa_{ing}: fractie geabsorbeerd bij ingestie [-]
W: lichaamsgewicht [kg]

De veronderstelde hoeveelheid geconsumeerde groenten is 345 gram/dag voor volwassenen en 150 gram/dag voor kinderen.

De studie bureaus dienen in hun rapporten aan te geven of de bovenvermelde formules al dan niet werden toegepast. Ze kunnen van de éne of de andere bovenvermelde berekeningsformule afwijken of ze aanpassen in functie van wat zich afspeelt in de andere gewesten, op voorwaarde dat ze een gemotiveerde en nauwkeurige motivatie aanbrengen.

De vergelijkingen en formules die niet zouden opgenomen zijn in dit besluit kunnen teruggevonden worden in de ECETOC studie (1990, 1992) en in het HESP model. (Veerkamp et ten Berge; 1994).

2. Basisgegevens voor de berekening van de blootstelling in functie van de gebruiksscenario's

Deze gegevens (vaste, variabele en standaardparameters) worden door het Brussels Instituut voor Milieubeheer, Afdeling Inspectoraat en Patrimonium, Departement Vervuilingbeheer (bodem, water) ter beschikking gesteld van al wie hierom vraagt zonder enig belang te doen gelden.

Elke verandering van één of meer van deze gegevens dient op een heldere en nauwkeurige manier gemotiveerd te worden.

3. Fysisch-chemische eigenschappen van de stoffen, toxicologische gegevens en achtergrondblootstelling

Deze gegevens (vaste, variabele en standaardparameters) worden door het Brussels Instituut voor Milieubeheer, Afdeling Inspectoraat en Patrimonium, Departement Vervuilingbeheer (bodem, water) ter beschikking gesteld van al wie hierom vraagt zonder enig belang te doen gelden.

Elke verandering van één of meer van deze gegevens dient op een heldere en nauwkeurige manier gemotiveerd te worden.

Elke verandering van één of meer van deze gegevens dient op een heldere en nauwkeurige manier te worden gemotiveerd. Voor de inschatting van het humane risico van minerale olie dient het bestanddeel of de fractie die het meeste risico inhoudt in aanmerking te worden genomen (worst-case scenario).

4. Blootstellingswegen

De meest relevante blootstellingswegen worden bepaald rekening houdend met het huidige of toekomstige concrete gebruik van de site. Wanneer de toekomstige bestemming van het terrein niet gekend is dienen de planologische bestemming van de site en alle mogelijke blootstellingswegen, zelfs de minst waarschijnlijke (worst-case scenario), in aanmerking te worden genomen.

De keuze van de meest relevante blootstellingswegen voor een gegeven site wordt door middel van de volgende mogelijkheden uitgevoerd:

- Ingestie van grond en stof
- Dermaal contact met bodem en stof
- Inhalatie van bodem en stof
- Ingestie van drinkwater
- Inhalatie van binnen- en buitenlucht

Andere blootstellingswegen (zoals ingestie via groenten, enz) kunnen worden toegevoegd als het studie bureau dit noodzakelijk acht.

5. Gebruiksscenario's

De te overwegen gebruiksscenario's bij de modellering van de humane risico's zijn :

- Woonzone
- Industriezone (lichte of zware industrie)
- Bijzondere zone (grondwaterwinning, park, groenzone, boszone)

Het scenario "landbouwzone" kan in een aantal zeer precieze gevallen, zoals moestuinen, gebruikt worden.

6. Doelgroepen

Men dient een onderscheid te maken tussen volwassenen (industriezone) en kinderen (woonzone en bijzondere zone).

Afdeling II - Verspreidingsrisico's

1. Berekening van de verspreidingssnelheid van een verontreiniging

Voor sites met een oppervlakte kleiner dan 250m³ of voor dewelke weinig gegevens beschikbaar zijn over de geologische, hydrogeologische en hydrodynamische aspecten waardoor geen hydrogeologisch model kan opgesteld worden, dienen de verspreidingsrisico's te worden bepaald op basis van de verspreidingssnelheid van de verontreiniging. Deze laatste wordt berekend op basis van de grondwaterstromingssnelheid en de retardatiefactoren.

De horizontale grondwaterstromingssnelheid:

$$V_d = -K \cdot dh/dl$$

met :

V_d : Darcy-snelheid (m/dag)

K : hydraulische conductiviteit (m/dag)

dh/dl : hydraulische gradient

De reële horizontale stromingssnelheid wordt berekend op basis van de effectieve bodemporositeit :

$$V_r = V_d/n_e$$

met :

V_r : reële horizontale stromingssnelheid van het grondwater

n_e : effectieve porositeit van de bodem

De hydraulische gradiënt, de hydraulische conductiviteit en de porositeit moeten bepaald worden door metingen op het terrein en op basis van literatuurgegevens. De hydraulische conductiviteit en de porositeit moeten ingeschat worden op basis van terreingegevens (boorbeschrijvingen) zodat ze vergeleken kunnen worden met de op het terrein gemeten gegevens. Het zijn de meest ongunstige waarden van de hydraulische conductiviteit en porositeit (worst-case scenario) die dienen weerhouden te worden voor de berekening van de horizontale stromingssnelheid van het grondwater.

De transportsnelheid van een verontreinigende stof wordt berekend door de reële horizontale grondwaterstromingssnelheid te delen door de retardatiefactor van deze verontreinigende stof.

$$V_p = V_r/R$$

met :

V_p : transportsnelheid van een verontreinigende stof (m/dag)

R : retardatiefactor van de verontreinigende stof

De retardatiefactor wordt berekend volgens volgende formule:

$$R = 1 + (\rho \times K_d/V)$$

met :

ρ : bulkdichtheid (1.8kg/dm³)

K_d : verdelingscoëfficiënt grond/water (dm³/kg)

V : vochtgehalte (0.4 m³/m³) of porositeit in verzadigde zone

De gehanteerde K_d waarden kunnen worden berekend op basis van specifieke standaardgegevens uit de literatuur.

De retardatiefactor voor organische stoffen moet als volgt berekend worden:

$$K_d = K_{oc} \times f_{oc}$$

met :

K_{oc} : Verdelingscoëfficiënt organisch koolstof/water (dm³/kg)

$f_{oc} = 0.58 f_{om}$

f_{om} : fractie organische stof

Het gehalte organisch materiaal in de onverzadigde zone wordt ambtelijk op 1 % vastgesteld.

$$K_{oc} = 0.4111 \times K_{ow}$$

met :

K_{ow} : Verdelingscoëfficiënt octanol/water (literatuurwaarden)

2. Hydrogeologische modellering

De hydrogeologische modellering wordt in de volgende gevallen opgelegd:

- Als het verontreinigd terrein zich op of nabij een openbare of private grondwaterwinning bevindt;
- Als de kans bestaat dat het oppervlaktewater door een eventuele verontreiniging aangetast kan worden;
- Als de kans bestaat dat het grondwater of groene zones van grote waarde worden verontreinigd ;
- Als de grondwaterverontreiniging een semi-permanent karakter heeft (voorbeeld : stortplaatsen).

En heeft slechts zin als volgende voorwaarden vervuld zijn:

- Een terreinoppervlakte groter dan 250 m² ;
- Nauwkeurige kennis van de geologische, hydrogeologische en hydrodynamische karakteristieken van de site;
- Volledige kwantitatieve en ruimtelijke karakterisering van de grondwater verontreiniging ;
- Beschikbaar zijn van gegevens die het opstellen en het controleren van het hydrogeologisch model toelaten.

De hydrogeologische modellering gebeurt door middel van de meest geschikte modellen.

3. Uitloogtesten

Kolomtesten (PrEN14405 of NEN 7343 of ISO 21268-3) moeten uitgevoerd worden om de uitloogbaarheid op middenlange of lange termijn te evalueren en dus het risico te bepalen dat diepergelegen grondwaterlagen aangetast worden. Dit type van test beoogt zowel anorganische als organische stoffen en richt zich onder andere op gronden verontreinigd met zware metalen en met polyaromatische koolwaterstoffen veroorzaakt door de aanwezigheid van aanvullingen, assen en metaalslakken.

Andere types van uitloogtesten (DIN S4 of ISO 21268-2 of EN 12457) kunnen aanvaard worden wanneer deze een snelle kennisname van de uitloogbaarheidsgraad van een weinig doorlatende bodem (minder dan 10^{-7} m/s) tot doel hebben.

Indien deze testen aantonen dat één of meerdere stoffen kunnen migreren naar het onderliggende grondwater dienen de risicowaarden voor de mens teruggebracht te worden naar concentraties waarbij geen wijziging van de grondwaterkwaliteit kan optreden.

Afdeling III- Risico voor de ecosystemen

Het risico voor de ecosystemen wordt ingeschat op basis van de ecotoxicologische HC50-waarden (of Hazardous Concentration 50 % die overeenstemt met de concentratie waarboven 50 % van de dier- of plantensoorten van een ecosysteem nadelige gevolgen kan ondervinden). Deze waarden zijn terug te vinden in de literatuur voor elke verontreinigende stof. De meest nadelige HC50-waarden dienen in overweging genomen te worden.

Gezien om te worden gevoegd bij het besluit van de Brusselse Regering betreffende de risico-evaluatie van bodemverontreiniging voor de gezondheid en het leefmilieu.

De Minister-Voorzitter van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering,
Ch. PICQUE

De Minister van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering belast met Leefmilieu,
Mevr. E. HUYTEBROECK