

PRINCIPES BIJ HET AFLEIDEN VAN DE WAARDE VRIJ GEBRUIK EN DE WAARDE VOOR BOUWKUNDIG BODEMGEBRUIK

Ingeborg Joris

Studie uitgevoerd in opdracht van: OVAM

December 2018



VITO NV

Boeretang 200 - 2400 MOL - BELGIE
Tel. + 32 14 33 55 11 - Fax + 32 14 33 55 99
vito@vito.be - www.vito.be

BTW BE-0244.195.916 RPR (Turnhout)
Bank 375-1117354-90 ING
BE34 3751 1173 5490 - BBRUBEBB

INHOUD

Inhoud	I
Lijst van figuren	II
HOOFDSTUK 1. Achtergrond	3
HOOFDSTUK 2. Afleiding van risicogebaseerde grenswaarden	4
2.1. <i>Veilige concentraties in bodem en grondwater</i>	4
2.2. <i>Verspreidingsmodel</i>	4
2.3. <i>Bronterm/Testmethode</i>	5
2.4. <i>Toepassingsscenario's</i>	6
2.5. <i>Evaluatie-criteria</i>	7
2.6. <i>Risicogebaseerde grenswaarden</i>	8
HOOFDSTUK 3. Gehanteerde beslissingsschema's	9
3.1. <i>Waarden vrij gebruik uitgegraven bodem (VLAREBO, bijlage 5)</i>	9
3.2. <i>Gebruik als bouwkundig bodemgebruik/vormvast product</i>	9
HOOFDSTUK 4. Afleiding voor niet-genormeerde parameters	11
4.1. <i>Veilige concentraties bodem en grondwater</i>	11
4.2. <i>Fysico-chemische parameters</i>	11
4.3. <i>Opzetten rekenscenario's</i>	12
4.4. <i>Berekening van Grenswaarde 1 – webtool 'Studie ontvangende grond'</i>	12
4.4.1. Scenario en rekeninstrument	12
4.4.2. Benodigde parameters	13
4.4.3. Aanpak	14
4.5. <i>Berekening van Grenswaarde 2</i>	15
4.5.1. Scenario en rekeninstrument	15
4.5.2. Kritische waarde grondwater met de webtool 'Studie ontvangende grond'	15
4.5.3. Kritische waarde grondwater met F-LEACH	18
4.5.4. Kritische waarde bodem met F-LEACH	18
4.5.5. Afleiden van GW2	23
4.6. <i>Berekening van Grenswaarde 3</i>	23
4.6.1. Scenario en rekeninstrument	23
4.6.2. Kritische waarde grondwater met de webtool 'Studie ontvangende grond'	23
4.6.3. Kritische waarde grondwater met F-LEACH	25
4.6.4. Kritische waarde bodem met F-LEACH	25
4.6.5. Afleiden van GW3	30
4.7. <i>Risicogebaseerde grenswaarden</i>	30

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: Schematische weergave van de bronterm (bovenaan) die in een iteratief proces wordt aangepast tot de veilige concentratie in grondwater (onderaan) net bereikt wordt.	6
Figuur 2: Toepassingsscenario voor ophoging	7
Figuur 3: Toepassingsscenario voor opvulling	7
Figuur 4: Schematische voorstelling van de verschillende scenario's met totaal concentratie samen met de Kd als de bronterm en de bijhorende grenswaarden.	8
Figuur 5: Verschillende stappen in de afleiding van waarden voor vrij gebruik of bouwkundig bodemgebruik/in een vormvast product.	11
Figuur 6: Overzicht van de benodigde berekeningen voor de verschillende types toepassing en type parameter.	12
Figuur 7: Screenshot uit de Studie ontvangende grond, scenario opvulling met ingevulde waarden voor koper.	14
Figuur 8: Screenshot van de output van de webtool voor een opvulling met koper met een concentratie van 51,5 mg/kg ds.	15
Figuur 9: Screenshot uit de Studie ontvangende grond, scenario ophoging met ingevulde waarden voor benzo(a)pyreen.	17
Figuur 10: Screenshot van de output van de webtool voor een ophoging met benzo(a)pyreen met een concentratie van 5,6 mg/kg ds.	18
Figuur 11: Extract uit F-LEACH rapport met weergave welk percentage van de massa uitgespoeld is na een bepaalde periode.	22
Figuur 12: Screenshot uit de Studie ontvangende grond, scenario ophoging met ingevulde waarden voor koper.	24
Figuur 13: Extract uit F-LEACH rapport met weergave welk percentage van de massa uitgespoeld is na een bepaalde periode.	29

HOOFDSTUK 1. ACHTERGROND

In opdracht van OVAM heeft VITO in een aantal onderzoekstaken risicogebaseerde grenswaarden voor minerale materialen afgeleid voor 4 toepassingsgebieden van minerale materialen:

- vrij gebruik als bodem (VLAREBO/VLAREMA)
- als bouwkundig bodemgebruik of in vormvast product (VLAREBO)
- gebruik als niet-vormgegeven (NV) bouwstof (VLAREMA)
- gebruik als vormgegeven (V) bouwstof (VLAREMA)

Deze afleiding is in verschillende fasen verlopen: in eerste instantie is zijn de principes en de methologie vastgelegd, vervolgens zijn risicogebaseerde grenswaarden doorgerekend en op basis van beslissingsregels ontwerpnormen afgeleid en finaal zijn deze in een haalbaarheidstudie getoetst om tot normvoorstellen te komen. Centraal bij de evaluatie stond de afweging tussen het stimuleren van het gebruik (ruime afzetmogelijkheden) en het degelijk beschermen van bodem en grondwater (risicogebaseerde grenswaarden).

Risicogebaseerde grenswaarden geven aan dat bij een gegeven concentratie gemeten met de testmethode op het minerale materiaal, voor het toepassingsscenario (opvulling/ophoging) met bijhorende set van randvoorwaarden de veilige concentratie in bodem/grondwater wordt gerespecteerd. Aangezien zowel de milieucompartimenten bodem als grondwater beschouwd werden is voor het bepalen van de grenswaarde steeds uitgegaan van het laagste (strengste) getal m.a.w. het gevoeligste compartiment.

Meer informatie en achtergrond over de afleiding is terug te vinden in het rapport 'Afleiding en onderbouwing gemeenschappelijk normenkader voor grondstoffen en uitgegraven bodem in Vlaanderen' (Broos et al., 2015). Dit document gaat in op de principes en methodes gehanteerd bij het berekenen van de risicogebaseerde grenswaarden voor vrij gebruik als bodem en als bouwkundig bodemgebruik of in een vormvast product en geeft richtlijnen voor het afleiden van waarden voor niet-genormeerde parameters.

HOOFDSTUK 2. AFLEIDING VAN RISICOGEBASEERDE GRENSWAARDEN

In dit hoofdstuk worden kort de verschillende stappen in de berekening van de risicogebaseerde grenswaarden voor vrij gebruik van uitgegraven bodem en gebruik in bouwkundig bodemgebruik/in een vormvast product beschreven:

- Bepalen van veilige concentraties in bodem en grondwater
- Beschrijving van het procesgebaseerde transportmodel
- Beschrijving van de bronterm in de berekening
- Afgelijkende toepassingsscenario's
- Evaluatie-criteria
- Risicogebaseerde grenswaarden

Meer gedetailleerde informatie is terug te vinden in Broos et al. (2015).

2.1. VEILIGE CONCENTRATIES IN BODEM EN GRONDWATER

Om een risico-berekening te kunnen uitvoeren, is het gewenste beschermingsniveau voor elk compartiment ingevuld. Dit beschermingsniveau is vastgelegd door de definiëring van een veilige concentratie (in bodem en grondwater) voor de parameters die een potentieel risico inhouden. Bij het bepalen van deze veilige concentratie zijn zowel humane als ecotoxicologische blootstelling in overweging genomen met als minimum de streefwaarden en als maximum de saneringswaarde.

Bij de afleiding van de risicogebaseerde grenswaarden is er voor de veilige concentratie enkel gebruik gemaakt van bestaande, gepubliceerde en samenvattende datasets die wetenschappelijk onderbouwd zijn. Indien mogelijk is gebruik gemaakt van bestaande Vlaamse milieucriteria die reeds geïmplementeerd zijn in de wetgeving. Bij voorkeur gaat het over milieucriteria die resulteren uit de omzetting van bestaande EU-richtlijnen. Vervolgens is de voorkeur gegeven aan Europese PNEC-waarden ('Predicted No Effect Concentration'). Daaropvolgend is gebruik gemaakt van Nederlandse en Duitse waarden. Voor bodem gaat het hier meer bepaald om de Maximale Waarden voor 'wonen' (MW wonen) die gebaseerd zijn op risico voor mens, landbouw en ecosysteem. Voor grondwater is er teruggegrepen naar de Duitse LAWA-waarden (2004) die beschermend zijn voor het ecosysteem.

De geselecteerde veilige concentraties en per stof de onderbouwing zijn terug te vinden in Broos et al. (2015).

2.2. VERSPREIDINGSMODEL

Om de risicogebaseerde grenswaarden te berekenen, is een procesgebaseerd verspreidingsmodel toegepast dat transport door de bodem beschrijft ten gevolge van convectie, dispersie en diffusie en rekening houdt met sorptie, vervluchtiging en (eventueel) afbraak. Sorptie wordt in dit modelconcept weergegeven door een (empirische) sorptieconstante, nl. de Kd-waarde.

Voor de Kd-waarde is zowel een representatieve hoge waarde (voor een sterk sorberende bodem; maximale impact op bodem) als een representatieve lage waarde (voor een weinig sorberende bodem; maximale impact op grondwater) gedefinieerd.

Om deze waarden te bepalen voor metalen, is gebruik gemaakt van de data opgelijst in de studies Smolders et al. (2000) en Quaghebeur et al. (2007). Voor de meeste parameters zijn op basis van deze studies meer dan 40 relevante Vlaamse Kd-waarden beschikbaar. Voor elk van de metalen is het 10-percentiel (Kd Q10), de mediaan (Kd Q50) en het 90-percentiel (Kd Q90) van de Kd-waarde afgeleid.

Voor organische parameters is de Kd-waarde gelijkgesteld aan $K_{oc} * f_{oc}$ (met K_{oc} de water-organische stof verdelingscoëfficiënt en f_{oc} de fractie organische koolstof in de bodem). Om een hoge en lage Kd-waarde te bepalen is gebruik gemaakt van de gegevens van het organisch koolstofgehalte uit de Aardewerk databank. Hieruit zijn het 10-de percentiel, de mediaan en het 90ste percentiel van de toplaag (0-30 cm) en de onderliggende laag (30-70 cm) opgevraagd.

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van CXTFIT (Toride et al., 1995), een code die analytische oplossingen geeft voor de convectie-dispersie vergelijking. Numerieke codes hebben als voordeel dat ze zeer flexibel zijn, maar voor de toepassingsscenario's afgelijnd binnen deze studie zijn ook analytische oplossingen beschikbaar en is een analytisch model dan ook snel en accuraat. CXTFIT is ook ingebouwd in de software F-LEACH (vrij beschikbaar voor bodemsaneringsdeskundigen) en in de webtool voor 'Studie ontvangende grond' bij grondverzet.

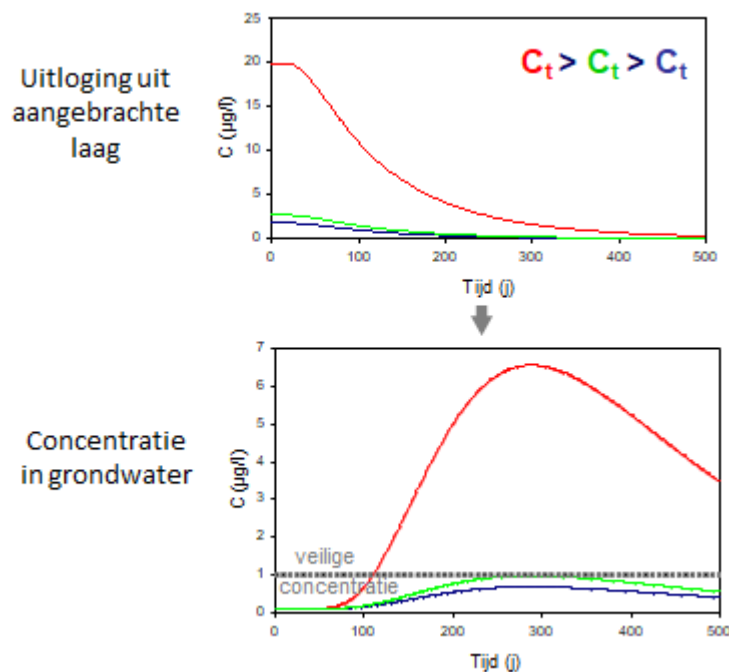
2.3. BRONTERM/TESTMETHODE

De bronterm is een beschrijving van de emissie/immissie in de tijd. Deze bronterm is nodig voor het berekenen van concentraties in de bodem, grondwater en oppervlaktewater. Binnen VLAREA en VLAREBO zijn er verschillende testen in voege om de bronterm te karakteriseren, zoals de kolomproef of de schudtest. Deze testen zijn afgestemd op de gestandaardiseerde Europese testen en worden ook vaak in de buurlanden gehanteerd.

Bij hergebruik van uitgegraven bodem als bodem zijn de verschillende stoffen genormeerd op totaalgehalte (waarden voor vrij gebruik). Hierbij wordt uitloging niet beschouwd en is er geen bronterm. Het totaalgehalte samen met Kd-waarden kan als bronterm gehanteerd worden door het aangebrachte materiaal als extra laag in het verspreidingsmodel in te brengen en op die manier de concentratie die uitloopt in functie van de tijd te berekenen.

Om de bronterm op die manier te definiëren, moet ook een representatieve Kd-waarde gebruikt worden. In de scenario's die doorgerekend zijn, is ervoor gekozen de berekeningen uit te voeren voor een materiaal gevoelig voor uitloging (lage Kd-waarde; gelijk aan het 10-de percentiel uit de dataset, Kd Q10) en voor een materiaal dat als gemiddeld gevoelig voor uitloging beschouwd kan worden (gemiddelde Kd-waarde; gelijk aan de mediaan uit de dataset, Kd Q50).

Door het verspreidingsmodel wordt telkens de concentratie berekend wordt die uitloopt uit het materiaal in functie van de tijd. Deze tijdsafhankelijke concentratie wordt in een iteratief proces aangepast tot de concentratie die met het verspreidingsmodel berekend wordt in bodem/grondwater net gelijk is aan de vooropgestelde veilige concentratie. Die uitloogconcentratie stemt dan overeen met de maximaal toelaatbare totaalconcentratie voor uitgegraven bodem. Dit proces is schematisch weergegeven in Figuur 1.

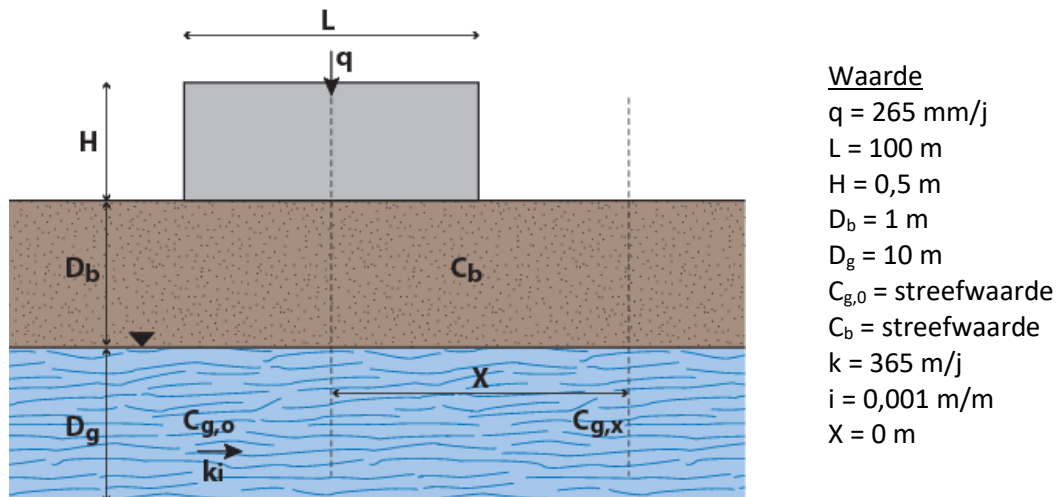


Figuur 1: Schematische weergave van de bronterm (bovenaan) die in een iteratief proces wordt aangepast tot de veilige concentratie in grondwater (onderaan) net bereikt wordt.

2.4. TOEPASSINGSSCENARIO'S

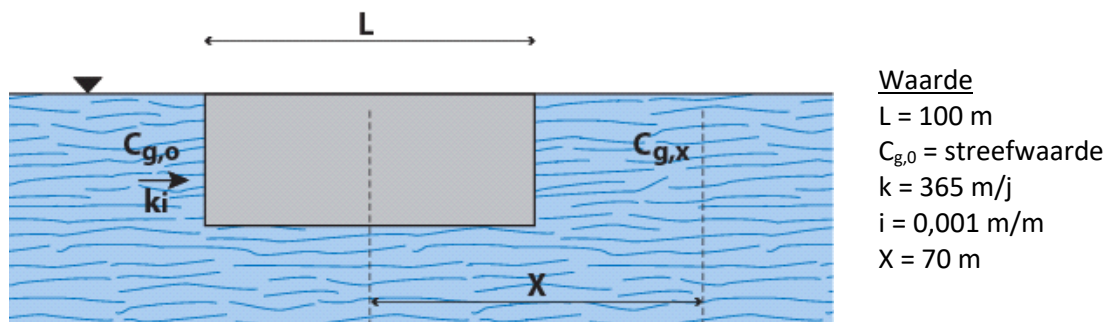
Bij het afleiden van de risicogebaseerde normen voor vrij gebruik of bouwkundig bodemgebruik/in een vormvast product zijn er twee mogelijke toepassingsscenario's beschouwd.

Het eerste mogelijke toepassingsscenario is een **ophoging** (zie Figuur 2): een toepassing van 0,5 m hoogte op een bodemlaag van 1 meter dikte en daaronder een freatische grondwaterlaag van 10 m dikte. De berekening voor dit scenario wordt altijd 2 keer uitgevoerd: één keer om de impact van de ophoging op het bodemcompartiment na te gaan (uitgaande van een sterk sorberende bodem) en één keer om de impact van de ophoging op het grondwatercompartiment na te gaan (uitgaande van een weinig sorberende bodem waarin stoffen mobiel zijn). Van deze 2 berekende risicogebaseerde waarden wordt telkens de strengste weerhouden.



Figuur 2: Toepassingsscenario voor ophoging

Het tweede toepassingsscenario is een **opvulling**, d.i. een toepassing rechtstreeks in het grondwater. Een opvulling met een lengte van 100 m in de richting van de grondwaterstroming wordt aangebracht in een freatische laag met lage sorptie-capaciteit en de concentraties 20 meter stroomafwaarts worden geëvalueerd (zie Figuur 3). In dit scenario is geen bodemlaag aanwezig en wordt er dus geen berekening uitgevoerd voor de impact op het bodemcompartiment.



Figuur 3: Toepassingsscenario voor opvulling

2.5. EVALUATIE-CRITERIA

Volgende evaluatie-criteria voor het compartiment grondwater en het compartiment bodem zijn beschouwd:

Ophoging

De evaluatiecriteria gekozen voor het bepalen van de cumulatieve emissie die maximaal toelaatbaar is voor **grondwater** zijn:

- jaargemiddelde concentraties in het grondwater
- onbeperkt tijdsraam
- bodem met lage K_d -waarde ($K_{d,Q10}$)
- evaluatie onder de toepassing ($X=0 \text{ m}$)

De evaluatiecriteria gekozen voor het bepalen van de cumulatieve emissie die maximaal toelaatbaar is voor **bodem** zijn:

- gemiddelde concentraties over 30 cm (toplaag)
- tijdsraam van 100 jaar
- bodem met hoge K_d -waarde ($K_{d,Q90}$)

Opvulling

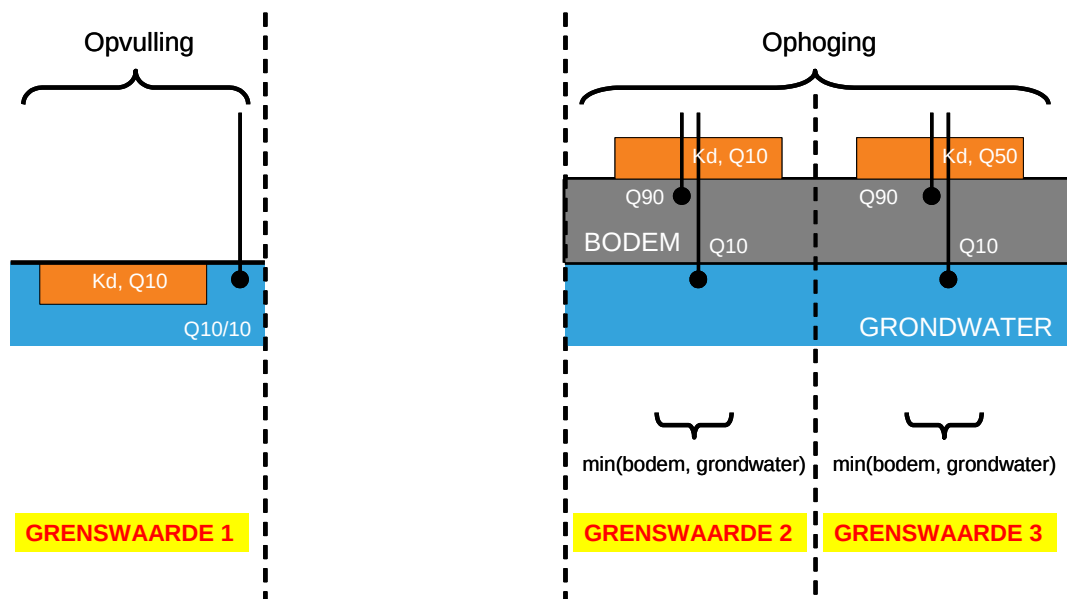
De evaluatiecriteria gekozen voor het bepalen van de cumulatieve emissie die maximaal toelaatbaar is voor een opvulling in **grondwater** zijn:

- jaargemiddelde concentraties in het grondwater
- onbeperkt tijdsraam
- freatische laag met lage K_d -waarde (10% van $K_{d,Q10}$)
- evaluatie 20 m stroomafwaarts van de toepassing ($X=70$ m)

2.6. RISICOGEBASEERDE GRENSWAARDEN

Figuur 4 geeft een schematisch overzicht van de verschillende risico-gebaseerde grenswaarden die afgeleid worden op basis van de hoger vermelde toepassingsscenario's en de bijhorende evaluatiecriteria:

- GRENSWAARDE 1: de concentratie die maximaal toelaatbaar is voor een opvulling in grondwater van een materiaal gevoelig voor uitloging ($K_d, Q10$)
- GRENSWAARDE 2: het minimum van de concentraties die maximaal toelaatbaar zijn in het grondwater en de bodem bij een ophoging met een materiaal gevoelig voor uitloging ($K_d, Q10$)
- GRENSWAARDE 3: het minimum van de concentraties die maximaal toelaatbaar zijn in het grondwater en de bodem bij een ophoging met een materiaal dat als gemiddeld gevoelig voor uitloging beschouwd kan worden ($K_d, Q50$)



Figuur 4: Schematische voorstelling van de verschillende scenario's met totaal concentratie samen met de K_d als de bronterm en de bijhorende grenswaarden.

HOOFDSTUK 3. GEHANTEERDE BESLISSINGSSCHEMA'S

3.1. WAARDEN VRIJ GEBRUIK UITGEGRAVEN BODEM (VLAREBO, BIJLAGE 5)

Om van risicogebaseerde grenswaarden over te gaan naar normvoorstellen, zijn een aantal beslissingsregels vastgelegd. De berekende grenswaarden kunnen als uiterste waarden gehanteerd worden waartussen nieuwe normvoorstellen voor waarden vrij gebruik (VLAREBO, bijlage 5) zich kunnen/mogen bevinden. Voor de anorganische parameters kunnen normvoorstellen zich bevinden in het gebied begrensd door GW1 en GW3. Voor organische parameters kunnen normvoorstellen zich bevinden in het gebied tussen GW1 en GW2.

De reden voor dit verschil in beslissingsschema is het antropogene karakter van de organische parameters/contaminanten, terwijl metalen reeds van nature aanwezig zijn. Voor de metalen betekent dit dat de maximale waarde bepaald wordt door de minimale risicogebaseerde grenswaarde (minimum van grenswaarde in bodem en grondwater) van een ophoging met een uitgegraven bodem die als gemiddeld gevoelig voor uitloging beschouwd kan worden (mediaan waarde voor Kd of m.a.w. Kd, Q50). Voor de organische parameters gebeurt deze ophoging met een bodem die gevoelig is aan uitloging (Kd, Q10).

In beide beslissingsschema's dient ook rekening gehouden te worden met de huidige bodemsaneringsnormen type II (VLAREBO, bijlage 3). Samenvattend kan men stellen dat normvoorstellen op basis van risicogebaseerde grenswaarden aan volgende voorwaarden dienen te voldoen:

Anorganische parameters:

- Minimaal gelijk aan GW1 en maximaal aan GW3
- Maximaal 60% van de BSN type II
- Minimaal 2 keer de streefwaarde

Organische parameters:

- Minimaal gelijk aan GW1 en maximaal aan GW2
- Maximaal 80% van BSN type II bij 1% organische stofgehalte (minimale BSN)
- Minimaal 3 keer de streefwaarde

3.2. GEBRUIK ALS BOUWKUNDIG BODEMGEBRUIK/VORMVAST PRODUCT

Voor bouwkundig bodemgebruik/vormvast product worden de verschillende grenswaarden gezien als een vork waartussen nieuwe normvoorstellen zich kunnen bevinden. Bij de afleiding van ontwerpnormen voor bouwkundig bodemgebruik/vormvast product is GW3 als bovengrens gehanteerd omdat voor dit type toepassing verondersteld wordt dat de toepassing duidelijk te onderscheiden blijft van de onderliggende bodem.

Voor de normering van organische parameters is VLAREBO bijlage 7 van toepassing (totaalconcentratie). Voor anorganische parameters is VLAREBO bijlage 7 van toepassing voor totaalconcentratie maar daarnaast ook VLAREBO bijlage 6 voor uitloging bepaald in een schudtest. Dit rapport beperkt zich tot de normen voor totaalconcentratie.

Anorganische parameters (totaalconcentratie):

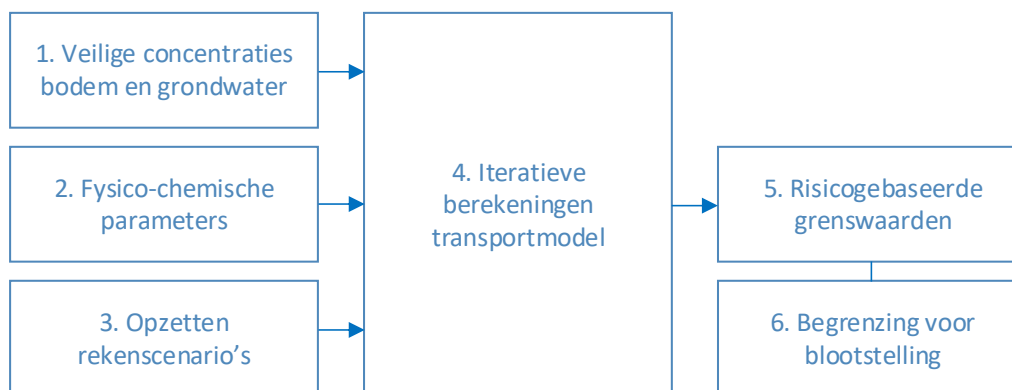
- Gelijk aan BSN type V

Organische parameters:

- Minimaal gelijk aan GW1 en maximaal aan GW3
- Maximaal BSN type V bij 1% organische stofgehalte
- Minimaal de bepaalde waarde vrij gebruik

HOOFDSTUK 4. AFLEIDING VOOR NIET-GENORMEERDE PARAMETERS

In volgende paragrafen worden de stappen opgelijst die doorlopen dienen te worden om waarden voor vrij gebruik of bouwkundig bodemgebruik/in een vormvast product af te leiden voor niet-genormeerde parameters.



Figuur 5: Verschillende stappen in de afleiding van waarden voor vrij gebruik of bouwkundig bodemgebruik/in een vormvast product.

4.1. VEILIGE CONCENTRATIES BODEM EN GRONDWATER

Als eerste stap dient het gewenste beschermingsniveau voor bodem en grondwater bepaald te worden door het selecteren van veilige concentraties.

De veilige concentratie in bodem/grondwater moet aan volgende voorwaarden voldoen:

- voldoende beschermend zijn zowel voor humane blootstelling als blootstelling van ecosystemen
- minimaal gelijk aan de streefwaarde en maximaal gelijk aan de strengste bodemsaneringsnorm of interventiewaarde

Mogelijke bronnen voor deze waarden zijn de EU PNEC waarden, de Nederlandse Maximale waarden 'wonen' of de Duitse LAWA-waarden. Voorkeur wordt gegeven aan waarden die al in een regelgevende context gebruikt zijn.

4.2. FYSICO-CHEMISCHE PARAMETERS

De fysico-chemische parameters gevraagd voor de berekeningen zijn:

- Oplosbaarheid in water
- Dimensieloze Henry-coëfficiënt
- Diffusiecoëfficiënt in lucht
- Verdelingscoëfficiënt organische koolstof/water K_{oc}
- Verdelingscoëfficiënt bodem/water K_d

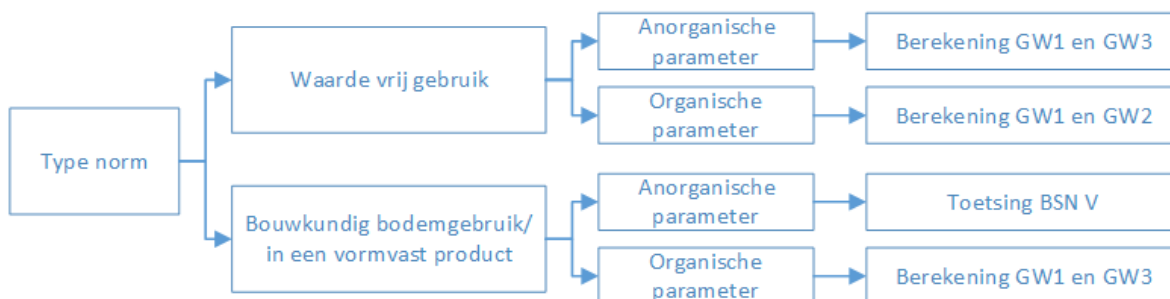
Voor bronnen om de eerste vier uit deze lijst op te zoeken wordt verwezen naar ‘Basisinformatie voor risico-evaluaties: werkwijze voor het opstellen van bodemsaneringsnormen en toetsingswaarden, richtwaarden en streefwaarden’, beschikbaar op de OVAM-website. Indien ook bodemsaneringsnormen afgeleid worden, dienen de geselecteerde waarden voor de fysico-chemische parameters consistent te zijn.

Om de sorptieconstante K_d te bepalen, dient voor anorganische parameters een range van waarden uit literatuur opgezocht te worden zodanig dat er een mediaan waarde, een lage waarde (Q10) en een hoge waarde (Q90) voor de berekeningen beschikbaar is. Voor organische parameters wordt de K_d waarde bepaald als het product van K_{OC} met de fractie organische koolstof en volstaat het opzoeken van de K_{OC} -waarde.

4.3. OPZETTEN REKENSENARIO'S

Welke rekenscenario's relevant zijn voor de afleiding, wordt bepaald door het type toepassing (vrij gebruik, bouwkundig bodemgebruik) en door het type parameter (anorganisch of organisch). Zoals besproken in Hoofdstuk 3, zijn de volgende risicogebaseerde grenswaarden relevant voor de verschillende toepassingen:

- Waarde vrij gebruik – anorganische parameters: GW1 en GW3
- Waarde vrij gebruik – organische parameters: GW1 en GW2
- Bouwkundig bodemgebruik/in een vormvast product: GW1 en GW3



Figuur 6: Overzicht van de benodigde berekeningen voor de verschillende types toepassing en type parameter.

In de volgende paragrafen wordt uitgelegd hoe de berekeningen opgezet kunnen worden met gebruik van F-LEACH of de webtool ‘Studie ontvangende grond’. Beide types software zijn oorspronkelijk niet voor deze toepassing ontwikkeld dus het opzetten van de berekeningen en opstellen van de invoer vraagt enige aandacht. Het is ook mogelijk de berekeningen uit te voeren in een ander stoftransportmodel indien dit rekening houdt met beweging van de contaminant in de bodem met infiltrerend regenwater, diffusie en sorptie.

4.4. BEREKENING VAN GRENSWAARDE 1 – WEBTOOL ‘STUDIE ONTVANGENDE GROND’

4.4.1. SCENARIO EN REKENINSTRUMENT

Grenswaarde 1 is de risicogebaseerde grenswaarde overeenstemmend met het scenario van een opvulling. Hierbij wordt enkel impact op het grondwater stroomafwaarts van de toepassing

beschouwd en geen impact op bodem. Het is aangeraden de berekeningen voor GW1 uit te voeren met de webtool 'Studie ontvangende grond' voor het scenario opvulling.

Er zijn 2 belangrijke verschillen tussen het generieke scenario opvulling (zie Figuur 3) en het scenario opvulling uit de 'Studie ontvangende grond':

1. Het evaluatiepunt ligt 20 m stroomafwaarts in het generieke scenario en 30 m stroomafwaarts in de 'Studie ontvangende grond'.
2. De sorptieconstante K_d van de freatische laag is gelijk aan 10% van de waarde in de opvulling zelf in het generieke scenario en gelijk aan de waarde in de opvulling zelf in de webtool.

Beide punten hebben als gevolg dat de risicogebaseerde grenswaarde in de webtool iets hoger (minder conservatief) is dan in het generieke scenario. In Bijlage A is het effect hiervan getest voor een tiental Vlarebo-parameters, en de impact lijkt beperkt. Daarom wordt de webtool ondanks de verschillen in het toepassingsscenario toch aangeraden als instrument voor de berekening van GW1.

4.4.2. BENODIGDE PARAMETERS

Vaste parameters

Parameter	Waarde
Droge stofdichtheid (kg/l)	1,5
Porositeit (cm^3/cm^3)	0,3
Lengte opvulling (m)	100
Verhang (m/m)	0,001
Verzadigde doorlaatbaarheid (m/j)	365
Dikte freatische laag	10

Stof-specifieke parameters

Parameter	Waarde
Dimensieloze Henry-cte H	databanken
Diffusiecoëfficiënt in lucht D_a (m^2/j)	databanken
Oplosbaarheid ($\mu\text{g}/\text{l}$)	databanken
Bodemsaneringsnorm ($\mu\text{g}/\text{l}$)	Enkel nodig voor grafiek; stel in op niveau veilige concentratie
Concentratie in opvulling (mg/kg DS)	Iteratief in te stellen
Fractie orgC	Gelijk aan 0,001
K_d	Gelijk aan K_d , Q10
Initiële concentratie gw $C_{\text{gw},0}$ ($\mu\text{g}/\text{l}$)	Streefwaarde in grondwater
Tijdsduur van berekening	Bij te stellen zodat doorbraak stof zichtbaar is

Opvulling

Enkele tips bij het invullen

Handleiding

Contaminant

Kies een stof: koper

H0,0

Da0,0 m²/j

Oplosbaarheid101600,0 µg/l

Bodemsaneringsnorm100,0 µg/l

Aangevoerde uitgegraven bodem

Droge stofdichtheid1,5 kg/l

Porositeit0,3 cm³/cm³

Conc in opvulling51,5 mg/kg DS

Fractie orgC0,01

Kd483 l/kg

Lengte opvulling (in richting GW stroming)100 m

Is er een deel van de opvulling boven de grondwatertafel?Nee

Aquifer

Verhang0,001 m/m

Verzadigde doorlaatbaarheid365,0 m/j

Dikte freatische laag10,0 m

Mengdiepte10 m

Dilutiefactor1,1377358490566039

Initiële conc gw (C_{gw,0})20 µg/l

Afbraak in het grondwater?Nee

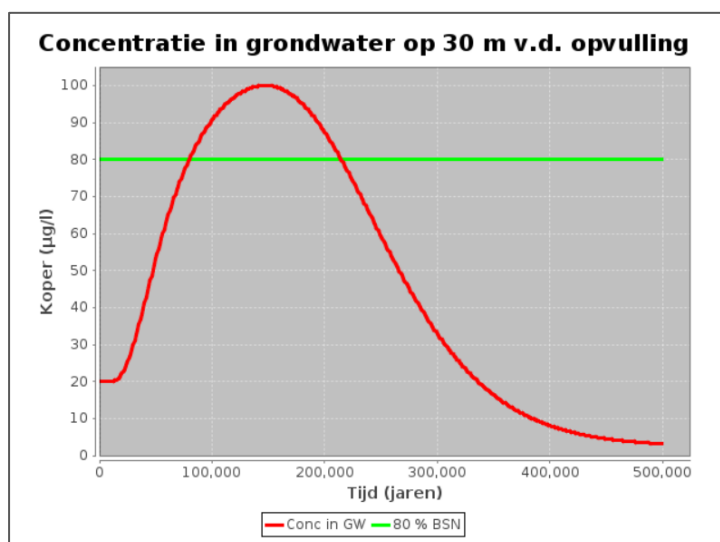
Tijdsduur van berekening: 500000 j (standaard 500 j)

Bereken

Figuur 7: Screenshot uit de Studie ontvangende grond, scenario opvulling met ingevulde waarden voor koper.

4.4.3. AANPAK

Na het klaarzetten van de berekening wordt de concentratie in de opvulling aangepast tot de maximale berekende concentratie grondwater ('Conc in GW') overeenkomt met de vooropgestelde veilige concentratie. In Figuur 8 wordt het voorbeeld voor koper gegeven waar een concentratie in de opvulling van 51,5 mg/kg ds een maximale concentratie in grondwater geeft van 100 µg/l (gelijk aan de veilige concentratie in grondwater) op 30 meter van de opvulling. Deze waarde van 51,5 mg/kg ds is dan de berekende GW1.



Figuur 8: Screenshot van de output van de webtool voor een opvulling met koper met een concentratie van 51,5 mg/kg ds.

4.5. BEREKENING VAN GRENSWAARDE 2

4.5.1. SCENARIO EN REKENINSTRUMENT

Grenswaarde 2 is de risicogebaseerde grenswaarde overeenstemmend met het scenario van een ophoging met een bodem gevoelig voor uitloging. Hierbij wordt zowel impact op het grondwater onder de ophoging als op de bodem beschouwd en de waarde wordt bepaald door het meest kritische compartiment. Om GW2 te bepalen, dienen er dus 2 berekeningen uitgevoerd te worden: bepaling van de kritische waarde voor bodem en bepaling van de kritische waarde voor grondwater. De kritische waarde voor grondwater kan bepaald worden door gebruik te maken van de webtool 'Studie ontvangende grond' of eventueel F-LEACH. Om de kritische waarde voor bodem te bepalen kan F-LEACH gebruikt worden aangevuld met enkele formules.

4.5.2. KRITISCHE WAARDE GRONDWATER MET DE WEBTOOL 'STUDIE ONTVANGENDE GROND'

→ Parameters

Vaste parameters

Parameter	Waarde
Droge stofdichtheid (kg/l)	1,5
Vochtgehalte (cm ³ /cm ³)	0,2
Dikte aangevoerde laag (m)	0,5
Lengte ophoging (m)	100
Verhang (m/m)	0,001
Verzadigde doorlaatbaarheid (m/j)	365
Dikte freatische laag	10

Stof-specifieke parameters

Parameter	Waarde
Dimensieloze Henry-cte H	databanken
Diffusiecoëfficiënt in lucht D_a (m^2/j)	databanken
Oplosbaarheid ($\mu g/l$)	databanken
Bodemsaneringsnorm ($\mu g/l$)	Enkel nodig voor grafiek; stel in op niveau veilige concentratie grondwater
Concentratie in aangevoerde laag (mg/kg DS)	Iteratief in te stellen
Fractie orgC (aangevoerde bodem) ⁽¹⁾	Gelijk aan 0,001
Kd (aangevoerde bodem) ⁽²⁾	Gelijk aan Kd, Q10
Fractie orgC (ontvangende grond) ⁽¹⁾	Gelijk aan 0,0028
Kd (ontvangende grond) ⁽²⁾	Gelijk aan Kd, Q10
Concentratie in aangerijkte laag (mg/kg DS)	Streefwaarde in bodem
Concentratie in onderliggende laag (mg/kg DS)	Streefwaarde in bodem
Initiële concentratie gw $C_{gw,0}$ ($\mu g/l$)	Streefwaarde in grondwater
Tijdsduur van berekening	Bij te stellen zodat doorbraak stof zichtbaar is

⁽¹⁾ Nodig voor organische parameters

⁽²⁾ Nodig voor anorganische parameters

Ophoging

Enkele tips bij het invullen

Handleiding

Contaminant

Kies een stof: benzo(a)pyreen

H: 1,0081277136459E-5

Da: 173,186139993113 m²/j

Koc: 2041737,94466953 l/kg

Oplosbaarheid: 2,9999844 µg/l

Bodemsaneringsnorm: 0,7 µg/l

Aangevoerde uitgegraven bodem

Droge stofdichtheid: 1,5 kg/l

Vochtgehalte: 0,2 cm³/cm³

Dikte aangevoerde laag: 0,5 m

Conc in aangevoerde laag: 5,6 mg/kg DS

Lengte ophoging (in richting GW stroming): 100 m

Fractie orgC: 0,001

Kd: 2041,7379446695302 l/kg

Ontvangende grond

Droge stofdichtheid: 1,5 kg/l

Vochtgehalte: 0,2 cm³/cm³

Dikte aangerijkte laag: 0,5 m

Conc in aangerijkte laag: 0,1 mg/kg DS

Dikte onderliggende bodemlaag (tussen aangerijkte laag en GW): 0,5 m

Conc in onderliggende laag (C_{AW}): 0,1 mg/kg DS

Fractie orgC: 0,0028

Kd: 5716,866245074684 l/kg

Aquifer

Verhang: 0,001 m/m

Verzadigde doorlaatbaarheid: 365,0 m/j

Dikte freatische laag: 10,0 m

Mengdiepte: 10 m

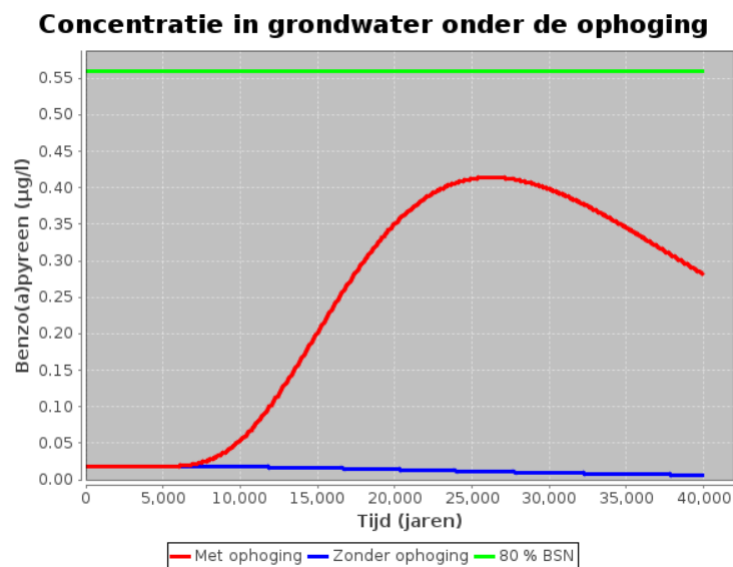
Dilutiefactor: 1,1377358490566039

Initiële conc gw (C_{gw,0}): 0,02 µg/l

Figuur 9: Screenshot uit de Studie ontvangende grond, scenario ophoging met ingevulde waarden voor benzo(a)pyreen.

→ Aanpak

Na het klaarzetten van de berekening wordt de concentratie in de aangevoerde laag aangepast tot de maximale berekende concentratie grondwater ('Met ophoging') overeenkomt met de vooropgestelde veilige concentratie. Deze waarde is dan de kritische waarde grondwater nodig voor de afleiding van GW2.



Figuur 10: Screenshot van de output van de webtool voor een ophoging met benzo(a)pyreen met een concentratie van 5,6 mg/kg ds.

4.5.3. KRITISCHE WAARDE GRONDWATER MET F-LEACH

Het is mogelijk om de kritische waarde voor grondwater te bepalen met F-LEACH maar aangezien in dit toepassingsscenario de K_d van de opgehoogde laag (bepaald als $K_{oc} \cdot 0,001$) en de K_d van de onderliggende bodem (bepaald als $K_{oc} \cdot 0,0028$) voor organische parameters verschillen, zijn er 2 opeenvolgende runs nodig:

1. Berekening van de uitloging uit de ophoging
2. Berekening van het transport van de stof door de onderliggende bodem

In de tweede berekening wordt de uitloging uit de ophoging bepaald in de eerste berekening ingegeven als 'verdere toediening of instroom pollutie bovenaan het bodemprofiel' als een aantal stappen met een bepaalde tijdsduur en concentratie. Deze sequentie van berekeningen dient herhaald te worden tot de ingegeven concentratie in de eerste berekening net resulteert in de veilige concentratie in grondwater in de tweede berekening.

Dit is vrij omslachtig en daarom wordt aangeraden dit toepassingsscenario met de webtool 'Studie ontvangende grond' door te rekenen. Dat geldt niet voor stoffen met een lage oplosbaarheid in water waarvan de concentratie in oplossing begrensd kan worden door de oplosbaarheid. F-LEACH bevat een algoritme dat de totale massa van contaminant dan vrijgeeft als een eindige bron terwijl de webtool dit algoritme niet bevat. Daarom is het **aangewezen voor stoffen met lage oplosbaarheid om de berekening met F-LEACH uit te voeren.**

4.5.4. KRITISCHE WAARDE BODEM MET F-LEACH

Aangezien in dit scenario de K_d -waarde tussen ophoging en onderliggende bodem verschillend is en dit essentieel is in de afleiding kan de kritische waarde niet uit één F-LEACH run afgeleid worden. Het is wel mogelijk een F-LEACH run op te zetten voor uitloging uit de ophoging en daarna de gemiddelde concentratie in de top 30 cm van de bodem na 100 jaar te berekenen ervan uitgaande dat er in sterk sorberende bodems nog geen uitloging uit de toplaag van 30 cm zal plaatsvinden binnen de 100 jaar.

→ Invoer voor F-LEACH:

Selectie basisscenario: Basisscenario 1

Parameters onverzadigde zone en verzadigde zone

Parameter	Waarde
Infiltratieflux q (m/j)	0,265
Bulkdensiteit ρ_1 (kg/l)	1,5
Vochtgehalte θ_1 (cm ³ /cm ³)	0,2
Lengte bronzone L (m)	100
Totale dikte onverzadigde zone z (m)	0,5
Gradiënt i (m/m)	0,0001
Verzadigde doorlaatbaarheid k (m/j)	1
Dikte freatische laag d (m)	10

Basisscenario 1: Bodemverontreiniging

Parameters onverzadigde zone

infiltratieflux $q =$ m/j

bulkdensiteit $\rho_1 =$ kg/l

vochtgehalte $\theta_1 =$ cm³/cm³

dispersiecoëfficiënt $D_1 =$ m²/j

lengte bronzone $L =$ m

totale dikte onverzadigde zone $z =$ m

Parameters verzadigde zone

gradiënt $i =$ m/m

verzadigde doorlaatbaarheid $k =$ m/j

dikte freatische laag $d =$ m

[via NGI-kaartblad ...](#)

mengdiepte $M_z =$ m

dilutiefactor $DL =$

Gegevens contaminant

Parameter	Waarde
Oplosbaarheid S (µg/l)	databanken
Dimensieloze Henry-cte H	databanken
Diffusiecoëfficiënt in lucht D_a (m ² /j)	databanken
Fractie organische koolstof	0,001
Verdelingscoëfficiënt onverzadigde zone $K_d,1$ (l/kg)	Gelijk aan K_d , Q10
BSN grondwater (µg/l)	Enkel nodig voor grafiek; stel in op niveau veilige concentratie grondwater

Achtergrondconcentratie in het grondwater van de site $C_{gw,0}$ ($\mu\text{g/l}$)	0
--	---

Gegevens contaminant

Type contaminant: zware metalen

Stoffenlijst: koper ▼

naam contaminant = koper

omschrijving =

oplosbaarheid S = 1,02E5 $\mu\text{g/l}$

dimensieloze Henry-coëfficiënt H' = 0

diffusiecoëfficiënt in lucht Da = 0 m^2/j

verdelingscoëfficiënt onverzadigde zone K_{d1} = 483 l/kg via bodemeigenschappen ...

BSN grondwater (standaard) = 100 $\mu\text{g/l}$

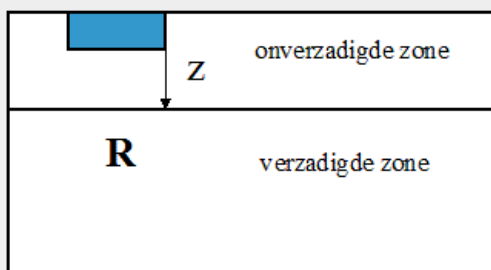
achtergrondconcentratie in het grondwater van de site $C_{gw,0}$ = 0 $\mu\text{g/l}$

Initiële condities onverzadigde zone

Parameter	Waarde
Dikte laag 1 (m)	Van 0 tot 0,5 m
Concentratie laag 1 (mg/kg DS)	Iteratief in te stellen

Basisscenario 1: Bodemverontreiniging

Bron in onverzadigde zone
 Receptor is het grondwater op diepte z onder het maaiveld
 (geen grondwaterverontreiniging)
 $\text{Pad} = z$



Initiële condities onverzadigde zone

achtergrondconcentratie in het grondwater van de site $C_{\text{gw},0} = 0$ $\mu\text{g/l}$

Initiële verticale verdeling van de contaminant in de onverzadigde zone (bodem):

Totale diepte $z = 0,5$ m

Aantal lagen:



Laag 1 van $z = 0$ m, tot $z = 0,5$ m, met concentratie 200 mg/kg

Modellering uitloging

Vink de optie 'bereken evolutie van de bodemkwaliteit' aan.

Modellering uitloging: opties

Stel tijdstap in op 1 jaar zodanig dat na 100 jaar informatie over de massa uitgeloozd gegeven wordt in het rapport.

→ Aanpak

In het F-LEACH rapport kan opgezocht worden welk percentage van de intieel aanwezige massa na 100 jaar uit de opgehoogde laag is uitgespoeld (in onderstaand voorbeeld: 7,568 %). Op basis van dit getal en veronderstellend dat na 100 jaar de contaminant nog niet uit de top 30 cm van de onderliggende (sterk sorberende) bodem uitgeloozd is, kan de maximaal toelaatbare concentratie in de ophoging met volgende vergelijkingen berekend worden.

koper	Evolutie bodemkwaliteit	
	$C_{\max}$ bodem (mg/kg ds)	% uitgeloozd (cumulatief)
na 0,000 j	960,0	0,000
na 1,000 j	960,0	0,1258
na 5,000 j	960,0	0,4666
na 10,00 j	960,0	0,8638
na 50,00 j	960,0	3,881
na 100,0 j	960,0	7,568
na 400,0 j	958,6	29,40

Figuur 11: Extract uit F-LEACH rapport met weergave welk percentage van de massa uitgespoeld is na een bepaalde periode.

De massa contaminant aanwezig in de top 30 cm van de onderliggende bodem is gelijk aan:

$$M_{bod} = C_{SW}\rho V_{bod} + M_{add}$$

Met M_{bod} : de massa contaminant in de top 30 cm van de onderliggende bodem na 100 j (mg)
 C_{SW} : de concentratie initieel aanwezig in de bodem, gelijk aan streefwaarde (mg/kg ds)
 ρ : de bulk densiteit van de bodem (kg ds/l)
 V_{bod} : het volume van de bodemlaag van de onderliggende bodem (dm³)
 M_{add} : de massa contaminant die in 100 jaar in de onderliggende bodem gespoeld is vanuit de ophoging (mg)

In concentratie-termen kan de gemiddelde concentratie in de top 30 cm van de onderliggende bodem dan geschreven worden als:

$$C_{bod} = \frac{C_{SW}\rho V_{bod} + \%uitgeloozd/100 (C_{oph}\rho V_{oph})}{\rho V_{bod}}$$

Met C_{bod} : de gemiddelde concentratie in de top 30 cm van de bodem na 100 j (mg/kg ds)
 $\%uitgeloozd$: het percentage van de massa uitgeloozd uit de ophoging na 100 j
 C_{oph} : de concentratie in de ophoging op het moment van ophoging (mg/kg ds)
 V_{oph} : het volume van de opgehoogde laag (dm³)

Door rekening te houden met de gegeven dimensies van ophoging en toplaag van onderliggende bodem wordt dit vereenvoudigd tot:

$$C_{oph} = 0.6 \frac{C_{bod} - C_{SW}}{\%uitgeloozd/100}$$

Door de concentratie in de top 30 cm C_{bod} gelijk te stellen aan de vooropgestelde veilige concentratie voor de bodem, kan hieruit de maximaal toelaatbare concentratie in de bodem bepaald worden. Deze aanpak is geldig voor gevallen waar de K_d van de onderliggende bodem gelijk is aan 59 l/kg of hoger. Voor contaminanten waar de K_d , Q90 lager ligt dan deze waarde kan uitloging uit de top 30

cm binnen de 100 jaar niet uitgesloten worden. Anderzijds zal voor deze mobiele contaminanten de uitloging naar grondwater allicht kritisch zijn eerder dan de accumulatie in de bodem.

4.5.5. AFLEIDEN VAN GW2

De resulterende Grenswaarde 2 is het minimum van de berekende kritische waarde grondwater en de berekende kritische waarde bodem.

4.6. BEREKENING VAN GRENSWAARDE 3

4.6.1. SCENARIO EN REKENINSTRUMENT

Grenswaarde 3 is de risicogebaseerde grenswaarde overeenstemmend met het scenario van een ophoging met een bodem gemiddeld gevoelig voor uitloging. Hierbij wordt zowel impact op het grondwater onder de ophoging als op de bodem beschouwd en de waarde wordt bepaald door het meest kritische compartiment. Om GW3 te bepalen, dienen er dus opnieuw 2 berekeningen uitgevoerd te worden: bepaling van de kritische waarde voor bodem en van de kritische waarde voor grondwater. De kritische waarde voor grondwater kan bepaald worden door gebruik te maken van de webtool 'Studie ontvangende grond'. Om de kritische waarde voor bodem te bepalen kan F-LEACH gebruikt worden.

4.6.2. KRITISCHE WAARDE GRONDWATER MET DE WEBTOOL 'STUDIE ONTVANGENDE GROND'

→ Parameters

Vaste parameters

Parameter	Waarde
Droge stofdichtheid (kg/l)	1,5
Vochtgehalte (cm^3/cm^3)	0,2
Dikte aangevoerde laag (m)	0,5
Lengte ophoging (m)	100
Verhang (m/m)	0,001
Verzadigde doorlaatbaarheid (m/j)	365
Dikte freatische laag	10

Stof-specifieke parameters

Parameter	Waarde
Dimensieloze Henry-cte H	databanken
Diffusiecoëfficiënt in lucht D_a (m^2/j)	databanken
Oplosbaarheid ($\mu\text{g}/\text{l}$)	databanken
Bodemsaneringsnorm ($\mu\text{g}/\text{l}$)	Enkel nodig voor grafiek; stel in op niveau veilige concentratie grondwater
Concentratie in aangevoerde laag (mg/kg DS)	Iteratief in te stellen
Fractie orgC (aangevoerde bodem)	Gelijk aan 0,008
Kd (aangevoerde bodem)	Gelijk aan Kd, Q50

Fractie orgC (ontvangende grond)	Gelijk aan 0,0028
Kd (ontvangende grond)	Gelijk aan Kd, Q10
Concentratie in aangerijkte laag (mg/kg DS)	Streefwaarde in bodem
Concentratie in onderliggende laag (mg/kg DS)	Streefwaarde in bodem
Initiële concentratie gw $C_{gw,0}$ (µg/l)	Streefwaarde in grondwater
Tijdsduur van berekening	Bij te stellen zodat doorbraak stof zichtbaar is

Ophoging

[Enkele tips bij het invullen](#)
[Handleiding](#)

Contaminant

Kies een stof: koper

H: 0,0

Da: 0,0 m²/j

Oplosbaarheid: 101600,0 µg/l

Bodemsaneringsnorm: 100,0 µg/l

Aangevoerde uitgegraven bodem

Droge stofdichtheid: 1,5 kg/l

Vochtgehalte: 0,2 cm³/cm³

Dikte aangevoerde laag: 0,5 m

Conc in aangevoerde laag: 310 mg/kg DS

Lengte ophoging (in richting GW stroming): 50,0 m

Fractie orgC: 0,01

Kd: 2244 l/kg

Ontvangende grond

Droge stofdichtheid: 1,5 kg/l

Vochtgehalte: 0,2 cm³/cm³

Dikte aangerijkte laag: 0,5 m

Conc in aangerijkte laag: 20 mg/kg DS

Dikte onderliggende bodemlaag (tussen aangerijkte laag en GW): 0,5 m

Conc in onderliggende laag (C_{AW}): 20 mg/kg DS

Fractie orgC: 0,02

Kd: 483 l/kg

Aquifer

Verhang: 0,001 m/m

Verzadigde doorlaatbaarheid: 365,0 m/j

Dikte freatische laag: 10,0 m

Mengdiepte: 10 m

Dilutiefactor: 1,1377358490566039

Initiële conc gw ($C_{gw,0}$): 20 µg/l

Figuur 12: Screenshot uit de Studie ontvangende grond, scenario ophoging met ingevulde waarden voor koper.

→ **Aanpak**

Na het klaarzetten van de berekening wordt de concentratie in de aangevoerde laag aangepast tot de maximale berekende concentratie grondwater ('Met ophoging') overeenkomt met de vooropgestelde veilige concentratie. Deze waarde is dan de kritische waarde grondwater nodig voor de afleiding van GW3.

4.6.3. KRITISCHE WAARDE GRONDWATER MET F-LEACH

Het is in principe mogelijk om de kritische waarde voor grondwater te bepalen met F-LEACH maar aangezien in dit toepassingsscenario de K_d van de opgehoogde laag en de K_d van de onderliggende bodem verschillen, zijn er 2 opeenvolgende runs nodig:

3. Berekening van de uitloging uit de ophoging
4. Berekening van het transport van de stof door de onderliggende bodem

In de tweede berekening wordt de uitloging uit de ophoging bepaald in de eerste berekening ingegeven als 'verdere toediening of instroom pollutie bovenaan het bodemprofiel' als een aantal stappen met een bepaalde tijdsduur en concentratie. Deze sequentie van berekeningen dient herhaald te worden tot de ingegeven concentratie in de eerste berekening net resulteert in de veilige concentratie in grondwater in de tweede berekening.

Dit is vrij omslachtig en daarom wordt aangeraden dit toepassingsscenario met de webtool 'Studie ontvangende grond' door te rekenen. Dat geldt niet voor stoffen met een lage oplosbaarheid in water waarvan de concentratie in oplossing begrensd kan worden door de oplosbaarheid. F-LEACH bevat een algoritme dat de totale massa van contaminant dan vrijgeeft als een eindige bron terwijl de webtool dit algoritme niet bevat. Daarom is het **aangewezen voor stoffen met lage oplosbaarheid om de berekening met F-LEACH uit te voeren**.

4.6.4. KRITISCHE WAARDE BODEM MET F-LEACH

De berekening kan in dit geval op dezelfde manier uitgevoerd worden als voor GW2 met als verschil dat de K_d van de ophoging nu gelijkgesteld wordt aan $K_d, Q50$ i.p.v. $K_d, Q10$. Er wordt een F-LEACH run opgezet voor uitloging uit de ophoging en daarna wordt de gemiddelde concentratie in de top 30 cm van de bodem na 100 jaar berekend ervan uitgaande dat er in sterk sorberende bodems nog geen uitloging uit de toplaag van 30 cm zal plaatsvinden binnen de 100 jaar.

→ **Invoer voor F-LEACH:**

Selectie basisscenario: Basisscenario 1

Parameters onverzadigde zone en verzadigde zone

Parameter	Waarde
Infiltratieflux q (m/j)	0,265
Bulkdensiteit ρ_1 (kg/l)	1,5
Vochtgehalte θ_1 (cm ³ /cm ³)	0,2
Lengte bronzone L (m)	100
Totale dikte onverzadigde zone z (m)	0,5

Gradiënt i (m/m)	0,0001
Verzadigde doorlaatbaarheid k (m/j)	1
Dikte freatische laag d (m)	10

Basisscenario 1: Bodemverontreiniging

Parameters onverzadigde zone

infiltratieflux $q = 0,265$ m/j
 bulkdensiteit $\rho_1 = 1,5$ kg/l
 vochtgehalte $\theta_1 = 0,2$ cm³/cm³
 dispersiecoëfficiënt $D_1 = 0,06625$ m²/j
 lengte bronzone $L = 100$ m
 totale dikte onverzadigde zone $z = 0,5$ m

Parameters verzadigde zone

gradiënt $i = 1E-4$ m/m
 verzadigde doorlaatbaarheid $k = 1$ m/j
 dikte freatische laag $d = 10$ m
[via NGI-kaartblad ...](#)
 mengdiepte $M_z = 10$ m
 dilutiefactor $DL = 1,00004$

Gegevens contaminant

Parameter	Waarde
Oplosbaarheid S (µg/l)	databanken
Dimensieloze Henry-cte H	databanken
Diffusiecoëfficiënt in lucht D_a (m ² /j)	databanken
Fractie organische koolstof	0,008
Verdelingscoëfficiënt onverzadigde zone $K_{d,1}$ (l/kg)	Gelijk aan K_d , Q50
BSN grondwater (µg/l)	Enkel nodig voor grafiek; stel in op niveau veilige concentratie grondwater
Achtergrondconcentratie in het grondwater van de site $C_{gw,0}$ (µg/l)	0

Gegevens contaminant

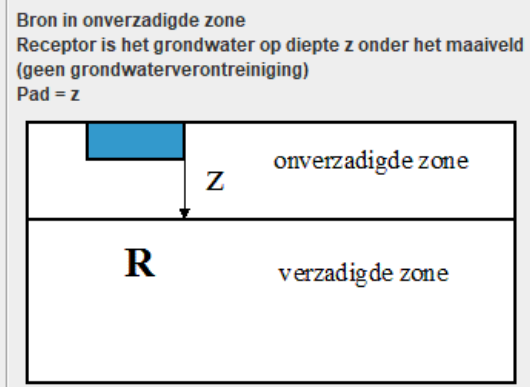
Type contaminant: *zware metalen*

Stoffenlijst:	koper	▼
naam contaminant	=	koper
omschrijving	=	
oplosbaarheid	S =	1,02E5 µg/l
dimensieloze Henry-coëfficiënt	H' =	0
diffusiecoëfficiënt in lucht	Da =	0 m ² /j
verdelingscoëfficiënt onverzadigde zone	K _{d1} =	2244 l/kg via bodemeigenschappen ...
BSN grondwater (standaard)	=	100 µg/l
achtergrondconcentratie in het grondwater van de site	C _{gw,0} =	0 µg/l

Initiële condities onverzadigde zone

Parameter	Waarde
Dikte laag 1 (m)	Van 0 tot 0,5 m
Concentratie laag 1 (mg/kg DS)	Iteratief in te stellen

Basisscenario 1: Bodemverontreiniging



Initiële condities onverzadigde zone

achtergrondconcentratie in het grondwater van de site $C_{gw,0} = 0$ $\mu\text{g/l}$

Initiële verticale verdeling van de contaminant in de onverzadigde zone (bodem):

Totale diepte $z = 0,5$ m

Aantal lagen:



Laag 1 van $z = 0$ m, tot $z = 0,5$ m, met concentratie 200 mg/kg

Modellering uitlogging

Vink de optie 'bereken evolutie van de bodemkwaliteit' aan.

Modellering uitlogging: opties

Stel tijdstap in op 1 jaar zodanig dat na 100 jaar informatie over de massa uitgelooagd gegeven wordt in het rapport.

→ Aanpak

In het F-LEACH rapport kan opgezocht worden welk percentage van de intieel aanwezige massa na 100 jaar uit de opgehoogde laag is uitgespoeld (in onderstaand voorbeeld: 1,75 %). Op basis van dit getal en veronderstellend dat na 100 jaar de contaminant nog niet uit de top 30 cm van de onderliggende (sterk sorberende) bodem uitgelooagd is, kan de maximaal toelaatbare concentratie in de ophoging met volgende vergelijkingen berekend worden.

koper	Evolutie bodemkwaliteit	
	$C_{\max}$ bodem (mg/kg ds)	% uitgelooft (cumulatief)
na 0,000 j	200,0	0,000
na 1,000 j	200,0	0,04527
na 5,000 j	200,0	0,1330
na 10,00 j	200,0	0,2293
na 50,00 j	200,0	0,9236
na 100,0 j	200,0	1,750
na 400,0 j	200,0	6,549

Figuur 13: Extract uit F-LEACH rapport met weergave welk percentage van de massa uitgespoeld is na een bepaalde periode.

De massa contaminant aanwezig in de top 30 cm van de onderliggende bodem is gelijk aan:

$$M_{bod} = C_{SW}\rho V_{bod} + M_{add}$$

Met M_{bod} : de massa contaminant in de top 30 cm van de onderliggende bodem na 100 j (mg)
 C_{SW} : de concentratie initieel aanwezig in de bodem, gelijk aan streefwaarde (mg/kg ds)
 ρ : de bulk densiteit van de bodem (kg ds/l)
 V_{bod} : het volume van de top 30 cm bodemlaag van de onderliggende bodem (dm³)
 M_{add} : de massa contaminant die in 100 jaar in de onderliggende bodem gespoeld is vanuit de ophoging (mg)

In concentratie-termen kan de gemiddelde concentratie in de top 30 cm van de onderliggende bodem dan geschreven worden als:

$$C_{bod} = \frac{C_{SW}\rho V_{bod} + \%uitgelooft / 100 (C_{oph}\rho V_{oph})}{\rho V_{bod}}$$

Met C_{bod} : de gemiddelde concentratie in de top 30 cm van de bodem na 100 j (mg/kg ds)
 $\%uitgelooft$: het percentage van de massa uitgelooft uit de ophoging na 100 j
 C_{oph} : de concentratie in de ophoging op het moment van ophoging (mg/kg ds)
 V_{oph} : het volume van de opgehoogde laag (dm³)

Door rekening te houden met de gegeven dimensies van ophoging en toplaag van onderliggende bodem wordt dit vereenvoudigd tot:

$$C_{oph} = 0.6 \frac{C_{bod} - C_{SW}}{\%uitgelooft / 100}$$

Door de concentratie in de top 30 cm C_{bod} gelijk te stellen aan de vooropgestelde veilige concentratie voor de bodem, kan hieruit de maximaal toelaatbare concentratie in de bodem bepaald worden.

Deze aanpak is geldig voor gevallen waar de K_d van de onderliggende bodem gelijk is aan 59 l/kg of hoger. Voor contaminanten waar de K_d , Q90 lager ligt dan deze waarde kan uitloging uit de top 30

cm binnen de 100 jaar niet uitgesloten worden. Anderzijds zal voor deze mobielere contaminanten de uitloging naar grondwater allicht kritisch zijn eerder dan de accumulatie in de bodem.

4.6.5. AFLEIDEN VAN GW3

De resulterende Grenswaarde 3 is het minimum van de berekende kritische waarde grondwater en de berekende kritische waarde bodem.

4.7. RISICOGEBASEERDE GRENSWAARDEN

Het resultaat van de berekeningen is een set van 2 grenswaarden voor de gewenste toepassing en parameter. Om hieruit een voorstel voor waarde vrij gebruik/bouwkundig bodemgebruik af te leiden, dienen de grenswaarden gekaderd en getoetst te worden enerzijds aan streefwaarden of achtergrondwaarden en anderzijds aan humaan-tox en/of ecotox waarden (afgeleide bodemsaneringsnormen, normwaarden uit het buitenland) aangezien de risicogebaseerde grenswaarden rekening houden met verspreiding maar niet met rechstreekse blootstelling.

