

Uitloogrisico voor minerale olie: toetsingsmethodiek

**SAMEN MAKEN WE
MORGEN MOOIER**



UITLOOGRISICO VOOR MINERALE OLIE: TOETSINGSMETHODIEK



Documentbeschrijving

1. *Titel publicatie*

UITLOOGRISICO VOOR MINERALE OLIE: TOETSINGSMETHODIEK

2. *Verantwoordelijke Uitgever*

Danny Wille, OVAM, Stationsstraat 110, 2800 Mechelen

3. *Wettelijk Depot nummer*

D/2011/5024/58

4. *Aantal bladzijden*

50 bladzijden

5. *Aantal tabellen en figuren*

4 tabellen – 10 figuren

6. *Prijs**

nvt

7. *Datum Publicatie*

september 2005

8. *Trefwoorden*

bodemverontreiniging, grondwater, uitloging, risico-evaluatie, minerale olie, software model

9. *Samenvatting*

In dit rapport wordt de methodiek beschreven voor de toetsing van het risico op uitloging van minerale olie vanuit een verontreinigde bodem. De methodiek bestaat uit twee stappen. In een eerste stap wordt de concentratie in de waterfase berekend uit de gemeten totaalconcentraties, en vervolgens vermenigvuldigd met een dilutiefactor. Het resultaat wordt dan vergeleken met de toetsingswaarde voor grondwater. Bij overschrijding wordt overgegaan tot de tweede stap waarin een bron-pad-receptor analyse wordt uitgevoerd.

10. *Begeleidingsgroep en/of auteur*

Ingeborg Joris (VITO), Piet Seuntjens (VITO), Richard Lookman (VITO), Griet Van Gestel (OVAM), Annelies Van Gucht (OVAM), Raf Engels (OVAM)

11. *Contactperso(o)n(en)*

Griet Van Gestel, Tom Behets

12. *Andere titels over dit onderwerp*

Bepaling van risico's door uitloging en beschrijving evolutie van de bodemkwaliteit – deel 1
Opstellen methodiek – deel 2 Handleiding uitloging

Gegevens uit dit document mag u overnemen mits duidelijke bronvermelding.

De meeste OVAM-publicaties kunt u raadplegen en/of downloaden op de OVAM-website: <http://www.ovam.be>

Inhoudstafel

1	Managementsamenvatting	7
2	Inleiding	9
3	Voorstel toetsingsmethodiek	11
3.1	Algemeen	11
3.2	Trap 1: berekenen van de concentratie in grondwater	12
3.2.1	Berekenen van concentraties in de waterfase	12
3.2.2	Dilutiefactoren	19
3.2.3	Grondwatercriteria	19
3.2.4	Voorbeeldberekeningen	20
3.3	Trap 2: bron-pad-receptor analyse	23
3.3.1	Berekenen van tijdsafhankelijke bronterm	24
3.3.2	Transport door onverzadigde zone	25
3.3.3	Voorbeeldberekeningen	26
3.4	Multifase modellering	31
3.4.1	MOFAT	31
3.4.2	HSSM	31
3.4.3	SWANFLOW	32
4	Referenties	33
5	Bijlage A: Dilutiefactoren en bodemvochtgehaltes	
	Lijst met afkortingen	

1 Managementsamenvatting

In dit rapport wordt een methodiek voor de toetsing van het risico op uitloging van minerale olie voorgesteld. Deze methodiek wijkt af van de eerder ontwikkelde methodiek voor de bepaling van de risico's voor uitloging omdat minerale olie een mengsel van verschillende componenten is en omdat de oplosbaarheid van de verschillende componenten afhankelijk is van de molaire fractie in de oliefase en dus niet onafhankelijk bepaald kan worden. De uitwerking van de methodiek is gebaseerd op de indeling in TPH-blokken, die ook gebruikt is voor het voorstel voor bodemsaneringsnormen voor minerale olie.

De methodiek bestaat uit verschillende trappen. In de eerste trap wordt de concentratie in de waterfase berekend uit de gemeten totaalconcentraties. Vervolgens wordt deze concentratie vermenigvuldigd met een dilutiefactor, en vergeleken met de toetsingswaarde voor grondwater. Voor de berekening is een routine in Excel ontwikkeld die eerst bepaalt of er een vierde fase (puur product) aanwezig is en vervolgens de concentratie in de waterfase berekent a.h.v. evenwichtspartitie (indien geen vierde fase) of a.h.v. een Solver-routine die de volumefractie van de oliefase en het aandeel van de verschillende componenten erin bepaalt (indien vierde fase aanwezig). De invoergegevens voor de berekening zijn de bulkconcentraties van de verschillende TPH-blokken, bodemgegevens (porositeit, vochtgehalte, droge stofdichtheid, fractie organische koolstof) en de dilutiefactor. De dilutiefactor wordt berekend a.h.v. locatie-specifieke geohydrologische gegevens of kan afgelezen worden uit de tabel in bijlage op basis van Kaartblad. Indien de berekende grondwaterconcentratie voor één van de blokken de toetsingswaarde overschrijdt, kan er overgegaan worden tot trap 2.

In trap 2 wordt er een bron-pad-receptor analyse uitgevoerd waarin rekening wordt gehouden met de geleidelijke uitputting van de bron door uitloging en vervluchting (gepaard gaand met verschillende verhoudingen in de opgeloste concentraties van de oliecomponenten door mengselgedrag) en met transport van de opgeloste componenten doorheen de bodem. In deze trap wordt attenuatie door dispersie, diffusie, vervluchting, sorptie, afbraak in bodem en verdunning in grondwater mee in rekening gebracht.

In de methodiek wordt enkel rekening gehouden met het in oplossing gaan van oliecomponenten, en niet met beweging van puur product. Indien de olieretentiecapaciteit van de bodem overschreden is en beweging van puur product mee in rekening gebracht moet worden, of indien de berekende concentraties in trap 2 de grondwatercriteria overschrijden, kan de bodemsaneringsdeskundige ervoor kiezen een meer doorgedreven modellering uit te voeren met numerieke modellen die multifase transport beschrijven.

In de methodiek wordt ook geen rekening gehouden met het niet-evenwichtsgedrag van oliecomponenten, waarbij oliecomponenten in (stromend) infiltratiewater trager in oplossing gaan dan in de evenwichtssituatie. De methodiek geeft daardoor een worst-case inschatting van de concentraties die in de bodemoplossing kunnen voorkomen.

2 Inleiding

Voor het bepalen van de risico's door uitloging van een verontreiniging in de onverzadigde zone is een getrapte methodiek ontwikkeld die in verschillende trappen met een toenemende complexiteit in de berekening en afnemende onzekerheid een inschatting van de hoeveelheid contaminant naar grondwater biedt (Seuntjens et al., 2005; Joris et al., 2005). In de eerste trap wordt er een toetsingswaarde berekend op basis van een evenwichtsverdeling van de contaminant over de verschillende fasen en verdunning in het grondwater. Indien de gemeten bodemconcentraties de toetsingswaarde overschrijden, wordt er overgegaan naar de tweede trap waarin een bron-pad-receptor analyse wordt uitgevoerd. Hierin wordt het transport door bodem en eventueel grondwater naar de receptor beschreven en worden naast verdunning ook dispersie, sorptie en afbraak in bodem/grondwater in rekening gebracht. Indien uit deze analyse blijkt dat uitloging een risico vormt voor de receptor, kan de bodemsaneringsdeskundige beslissen om een doorgedreven modellering uit te voeren met numerieke verspreidingsmodellen (trap 3).

De ontwikkelde methodiek is evenwel niet zonder meer toepasbaar voor minerale olie om twee redenen:

- minerale olie is een complex mengsel van verschillende componenten die verschillende fysico-chemische eigenschappen hebben en daardoor een verschillend uitloog-/verspreidingsgedrag;
- indien er puur product aanwezig is, is de oplosbaarheid van de verschillende componenten niet enkel afhankelijk van de eigenschappen en concentratie van de individuele component maar ook van de molaire fractie in de oliefase. Dit zgn. mengselgedrag heeft tot gevolg dat de oplosbaarheid in een vier-fasen-systeem lager is dan verwacht wordt op basis van de oplosbaarheid van de component en het niet in rekening brengen zou leiden tot een overschatting van de concentraties in oplossing en een overschatting van het uitloogrisico.

Omwillen van deze factoren is er een aparte methodiek uitgewerkt specifiek voor minerale olie, die zo dicht mogelijk aansluit bij de methodiek voor de bepaling van risico's door uitloging maar waar nodig aangepaste concepten bevat voor het gedrag van minerale olie componenten.

Zoals hoger gesteld, is minerale olie een mengsel van verschillende componenten en is de analyse ervan complex. In het protocol 'Karakterisering van minerale olie' (Lookman et al., 2004) zijn verschillende methoden vergeleken en is een nieuwe oliekaracterisatiemethode voorgesteld. De besproken methoden zijn de methode van TPHCWG (Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group), de NOBIS/TTE-methode, en een nieuw ontwikkelde methode, de OK-methode (Olie Karakterisering) die de TPHCWG- en TTE-methoden combineert. In de TPHCWG-methode worden eerst aromaten en alifaten gescheiden, gevolgd door een analyse van beide fracties en een indeling in verschillende blokken op basis van het equivalent koolstofgetal. De aflijning van de verschillende blokken heeft in de eerste plaats een toxicologische basis en wordt daarom geschikt geacht voor de beoordeling van risico's voor de mens. Aan de verschillende blokken zijn ook onderscheiden fysico-chemische eigenschappen toegekend. De TTE-methode is gebaseerd op een recirculatie-kolomexperiment, waarbij een verontreinigd bodemstaal in contact gebracht wordt met water en vervolgens de grond- en waterfase geanalyseerd worden. De componenten worden gescheiden op basis van kookpunt en polariteit. De ontwikkelde OK-methode is een aanpassing van de TTE-methode om tot een verbetering van de stofgroepindeling te komen. De TPH-riisico-afleiding is in de OK-methodiek geïntegreerd bij gebrek aan voldoende toxicologische gegevens voor de stofgroepen van de TTE-methode.

Op basis van de TPH-blokindeling is er een voorstel voor bodemsaneringsnormen voor minerale olie ontwikkeld (Nouwen et al., 2002). Deze studie bevat een voorstel voor bodemsaneringsnormen voor bodem en grondwater voor de verschillende TPH-blokken. Om de consistentie in normering te behouden, en omdat in deze studie een kader geboden wordt voor

de toetsing van concentraties in grondwater, is de methodiek die in voorliggend document verder uitgewerkt wordt, ook gebaseerd op de indeling in TPH-blokken. De verschillende blokken en de fysico-chemische eigenschappen die eraan toegekend zijn, zijn gegeven in Tabel 1. De afleiding van het kader is in principe algemeen toepasbaar en de toetsingsmethodiek kan eenvoudig aan een andere oliekarakterisatie gekoppeld worden mits er voor de verschillende onderscheiden stofgroepen fysico-chemische eigenschappen en grondwatercriteria beschikbaar zijn.

Omdat de hier voorgestelde methodiek gebaseerd is op de uitvoering van een oliekarakterisatie, ligt de toepassing ervan in de fase van het BBO.

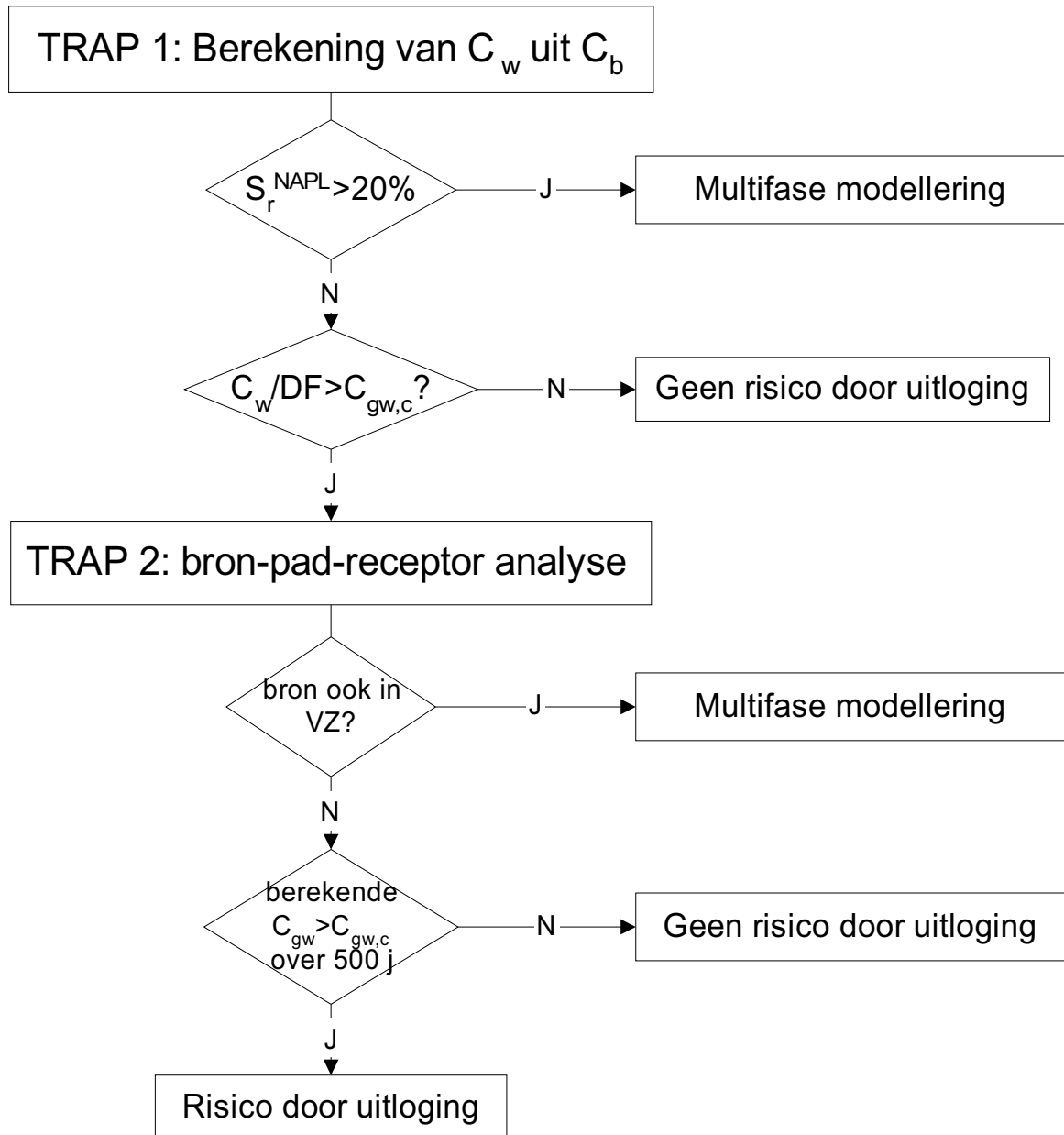
Blok	EC	MW (g/mol)	S (mg/l)	H'	log K _{oc}	D _a (m ² /j)	ρ (mg/l)
Alifaten							
EC ₅₋₆	5,5	8,1.10 ¹	3,6.10 ¹	3,3.10 ¹	2,9	3,2.10 ²	6,8.10 ⁵
EC _{>6-8}	7,0	1,0.10 ²	5,4	5,0.10 ¹	3,6	3,2.10 ²	7,3.10 ⁵
EC _{>8-10}	9,0	1,3.10 ²	4,3.10 ⁻¹	8,0.10 ¹	4,5	3,2.10 ²	7,3.10 ⁵
EC _{>10-12}	1,1.10 ¹	1,6.10 ²	3,4.10 ⁻²	1,2.10 ²	5,4	3,2.10 ²	7,6.10 ⁵
EC _{>12-16}	1,4.10 ¹	2,0.10 ²	7,6.10 ⁻⁴	5,2.10 ²	6,7	3,2.10 ²	7,7.10 ⁵
EC _{>16-21}	1,9.10 ¹	2,7.10 ²	2,5.10 ⁻⁶	4,9.10 ³	8,8	3,2.10 ²	7,8.10 ⁵
Aromaten							
Benzeen (EC ₅₋₇)	6,5	7,8.10 ¹	1,8.10 ³	2,3.10 ⁻¹	1,9	2,7.10 ²	8,8.10 ⁵
Tolueen (EC _{>7-8})	7,6	9,2.10 ¹	5,2.10 ²	2,7.10 ⁻¹	2,4	2,5.10 ²	8,7.10 ⁵
EC _{>8-10}	9,0	1,2.10 ²	6,5.10 ¹	4,8.10 ⁻¹	3,2	3,2.10 ²	8,7.10 ⁵
EC _{>10-12}	1,1.10 ¹	1,3.10 ²	2,5.10 ¹	1,4.10 ⁻¹	3,4	3,2.10 ²	9,0.10 ⁵
EC _{>12-16}	1,4.10 ¹	1,5.10 ²	5,8	5,3.10 ⁻²	3,7	3,2.10 ²	1,0.10 ⁶
EC _{>16-21}	1,9.10 ¹	1,9.10 ²	6,5.10 ⁻¹	1,3.10 ⁻²	4,2	3,2.10 ²	1,2.10 ⁶
EC _{>21-35}	2,8.10 ¹	2,4.10 ²	6,6.10 ⁻³	6,7.10 ⁻⁴	5,1	3,2.10 ²	1,3.10 ⁶

EC= ; MW= molecuulgewicht; S = oplosbaarheid; H'= dimensieloze Henry coëfficiënt; D_a is diffusieconstante in lucht; ρ = dichtheid van de NAPL

Tabel 1: Blok-specifieke fysico-chemische parameters (naar Nouwen et al., 2002; Park en San Juan, 2000)

3 Voorstel toetsingsmethodiek

3.1 Algemeen



Figuur 1: Stappen in de risico-evaluatie voor uitloogrisico voor minerale olie

De verschillende stappen in de risico-evaluatie voor het uitloogrisico van minerale olie zijn samengevat in Figuur 1. De methodiek is opgebouwd analoog aan de methodiek voor de bepaling van risico's door uitloging (Seuntjens et al., 2005). In de eerste trap wordt de verontreiniging beschouwd als een homogene verontreiniging in contact met het grondwater en wordt de concentratie in het grondwater berekend uitgaande van een evenwichtsverdeling van de

componenten over de verschillende fasen en verdunning in het grondwater. Indien de berekende concentratie in het grondwater het criterium in grondwater overschrijdt, dient er overgegaan te worden naar trap 2.

Aangezien in de berekeningen geen rekening gehouden wordt met de mobiliteit van puur product, is de methodiek enkel toepasbaar bij residuele olieverontreinigingen waarbij geen beweging van puur product verwacht wordt. De grenswaarde voor residuele verzadiging (= volume ingenomen door puur product/totaal poriënvolume) waarbij een puur product fase mobiel zal zijn onder invloed van zwaartekracht en capillaire krachten is afhankelijk van het type olieverontreiniging en van het type bodem. Waarden van 1 % tot 30 % zijn gerapporteerd (Keller, 2005), en voor de onverzadigde zone wordt als vuistregel voor de grens voor mobiliteit een waarde van 10-20 % residuele verzadiging gebruikt (Mercer and Cohen, 1990; Newell et al., 1995). Daarom wordt een waarde van 20 % voor de residuele verzadiging S_r^{NAPL} in Figuur 1 als uitsluitingscriterium gehanteerd.

In trap 2 wordt een bron-pad-receptor analyse uitgevoerd. In deze methodiek wordt de receptor steeds gedefinieerd als het grondwater onder de site. Het pad is het transport van de bronzone doorheen de onverzadigde zone naar het grondwater. Indien er ook een bron aanwezig is in de verzadigde zone, dient men rekening te houden met het mogelijk voorkomen van drijf-/zinklagen en zijn de aannames van de methodiek (ééndimensionaal transport in opgeloste vorm; geen beweging van puur product) ontoereikend voor een gedegen inschatting van het verspreidingsrisico. Om het verspreidingsrisico in te schatten of het aandeel van de onverzadigde zone hierin te bepalen, kan men beroep doen op meer gesofisticeerde numerieke modellen met een procesbeschrijving van multifase transport.

In de bron-pad-receptor analyse wordt attenuatie van de concentraties door dispersie, diffusie, sorptie, vervluchtiging, afbraak in de bodem en verdunning in het grondwater mee in rekening gebracht. Indien de berekende concentraties in trap 2 de toetsingswaarden voor grondwater overschrijden binnen een periode van 500 jaar, is er een risico op uitloging.

3.2 Trap 1: berekenen van de concentratie in grondwater

In de eerste trap wordt de verontreiniging beschouwd als homogeen en in direct contact met het grondwater. De concentraties in de waterfase worden berekend vanuit een evenwichtsverdeling van de verschillende componenten in de minerale olie over de verschillende fasen (water, lucht, vaste fase en eventueel NAPL-fase).

De benodigde invoer voor deze trap is een reeks bodemparameters (organisch koolstofgehalte, vochtgehalte, porositeit en schijnbare droge dichtheid), de bulkconcentraties van de verschillende TPH-blokken en een waarde voor de verdunningsfactor (te berekenen of af te lezen in Bijlage A). De uitvoer is een berekende concentratie in grondwater voor elk van de blokken die kan getoetst worden aan een grondwatercriterium.

3.2.1 Berekenen van concentraties in de waterfase

3.2.1.1 Modelformules

Bij het toepassen van de modelformules voor evenwichtsverdeling over de verschillende fasen, dient er een onderscheid gemaakt te worden tussen gevallen waar er een puur product fase aanwezig is (retentiezone), en gevallen waar er slechts drie fasen zijn (pluimzone of retardatiezone).

In het geval er geen puur product fase aanwezig is, verdeelt een contaminant zich in de onverzadigde bodem over drie fasen: de vaste fase, het bodemwater, en de bodemlucht. De

totaalconcentratie kan dan beschouwd worden als de som van de concentraties in de onderscheiden bodemfasen:

$$\rho_b C_b = \theta_w C_w + \rho_b C_s + \theta_a C_a \quad (1)$$

met: C_b is de totaalconcentratie (mg/kg ds)
 C_w is de concentratie in het bodemwater (mg/l)
 C_s is de concentratie op de vaste fase (mg/kg ds)
 C_a is de concentratie in de bodemlucht (mg/l)
 θ_w is het volumetrisch vochtgehalte (l/l)
 θ_a is het volumetrisch luchtgehalte (l/l)
 ρ_b is de schijnbare droge dichtheid (kg/l)

De verdeling van de stof tussen bodemwater en vaste fase wordt gegeven door de bodem-water verdelingscoëfficiënt K_d (l/kg):

$$K_d = \frac{C_s}{C_w} \quad (2)$$

Voor organische verbindingen wordt de K_d berekend uit de fractie organische koolstof en de K_{oc} coëfficiënt die de verdeling aangeeft tussen de organische stof en het bodemwater:

$$K_d = f_{oc} K_{oc} \quad (3)$$

De verdeling van een stof tussen bodemwater en bodemlucht wordt gegeven door de dimensieloze Henry coëfficiënt H' :

$$H' = \frac{C_a}{C_w} = \frac{K_H}{R_g T} \quad (4)$$

met: K_H is de Henry coëfficiënt (Pa.m³/mol)
 R_g is de universele gasconstante (Pa.m³/mol.K)
 T is de absolute bodemtemperatuur (K)

Met vergelijkingen (2) en (4) kan (1) herschreven worden in termen van C_w :

$$C_b = C_w \cdot \left(K_d + \left(\frac{\theta_w + H' \theta_a}{\rho_b} \right) \right) \quad (5)$$

Deze vergelijking kan gebruikt worden om C_w (mg/l) te berekenen uit de gemeten bulkconcentratie C_b (mg/kg ds).

Indien er wel een puur product fase aanwezig is, zal de contaminant zich verdelen over vier fasen: vaste fase, bodemwater, bodemlucht en oliefase. Voor elke component i aanwezig in de olie-verontreiniging geldt dat de oplosbaarheid evenredig is met de molaire fractie in de NAPL-fase (wet van Raoult). Voor elke component in het mengsel geldt dat:

$$C_w^i = x_i S_i \quad (6)$$

met: x_i is de molfractie van component i in de NAPL-fase
 S_i is de wateroplosbaarheid van component i

De verdeling van de contaminant over de verschillende fasen kan nu niet meer voor elke contaminant afzonderlijk bekeken worden maar moet voor alle componenten in het mengsel tegelijkertijd berekend worden en wordt voor een component i beschreven door (Mariner et al., 1997; Park en San Juan, 2000):

$$\rho_b C_b^i = \theta_w C_w^i + \rho_b f_{oc} K_{oc}^i C_w^i + \theta_a H_i' C_w^i + \theta_{NAPL} C_{NAPL}^i \quad (7)$$

met: C_{NAPL}^i de concentratie van component i in de NAPL fase (mg/l)
 θ_{NAPL} de volumefractie van de NAPL fase (l/l)

De molaire fractie x_i kan uitgedrukt worden als:

$$x_i = \frac{C_{NAPL}^i MW_{NAPL}}{\rho_{NAPL} MW_i} \quad (8)$$

met: MW_{NAPL} het molecuulgewicht van de NAPL-fase (g/mol)
 ρ_{NAPL} de dichtheid van de NAPL-fase (mg/l)
 MW_i het molecuulgewicht van component i (g/mol)

Het molecuulgewicht en de dichtheid van de NAPL-fase kunnen uitgedrukt worden in functie van het molecuulgewicht en dichtheid van de verschillende componenten als volgt:

$$\frac{MW_{NAPL}}{\rho_{NAPL}} = \sum \frac{x_i MW_i}{\rho_i} \quad (9)$$

met: ρ_i de dichtheid van component i (mg/l)

Door vergelijkingen (7), (8) en (9) te combineren, bekomt men voor elke component een uitdrukking voor de bulkconcentratie C_b^i in functie van de concentratie in de water fase C_w^i . In combinatie met de voorwaarden dat de som van alle molaire fracties in de NAPL-fase gelijk is aan 1, en dat de som van de volumefracties van de water-, lucht- en NAPL-fase gelijk is aan de totale porositeit, resulteert dat voor een mengsel van N componenten in een stelsel van $N+2$ vergelijkingen met $N+2$ onbekenden (x_i , θ_a en θ_{NAPL}):

$$\left\{ \begin{array}{l} C_b^i = \frac{x_i S_i}{\rho_b} \left[\theta_a H_i' + \rho_b f_{oc} K_{oc}^i + \theta_w + \frac{MW_i \theta_{NAPL}}{S_i \sum (x_i MW_i \rho_i)} \right] \\ \sum x_i = 1 \\ \theta_w + \theta_a + \theta_{NAPL} = \theta_s \end{array} \right. \quad (10)$$

Door deze vergelijkingen toe te passen op de TPH-blok methode wordt er impliciet vanuit gegaan dat (i) een TPH-blok zich als een 'component' gedraagt, en (ii) dat alle N componenten gekend zijn, d.w.z. dat alle componenten in een minerale olieverontreiniging bij een TPH-blok ondergebracht zijn. Aangezien er bij het afleiden van de verschillende TPH-blokken vertrokken is van de

voorwaarde dat de fysico-chemische eigenschappen binnen een blok niet meer dan een orde van grootte verschillen, is de eerste aanname aanvaardbaar (Park and San Juan, 2000). De aanwezigheid van een ongeïdentificeerde fractie die niet wordt meegenomen in deberekeningen zal ertoe leiden dat de berekende molaire fracties in de puur product fase overschattingen zijn van de werkelijke molaire fracties, en dat de berekende concentraties in de waterfase eveneens hoger liggen dan de werkelijke concentraties waardoor de inschatting van het risico op uitloging aan de veilige kant zit. Indien er in de ongeïdentificeerde fractie mobiele en goed oplosbare componenten zitten, vormt dit wel een probleem.

De vergelijkingen van (10) zijn geprogrammeerd in Excel en worden in een iteratief proces met behulp van de Solver routine opgelost. In de methodiek worden de verschillende TPH-blokken behandeld als afzonderlijke componenten met welbepaalde fysico-chemische eigenschappen.

In de Excel routine wordt eerst verondersteld dat er geen NAPL-fase aanwezig is (drie fasen systeem). De concentraties in oplossing worden berekend a.h.v. vergelijking (5). Vervolgens wordt de som $\sum C_w^i/S_i$ berekend. Als deze som kleiner is dan (of gelijk aan) 1, is er geen NAPL-fase aanwezig en wordt het resultaat behouden. Indien de som groter is dan 1, is er wel een NAPL-fase aanwezig (EPA, 1992; Mariner et al., 1997; Park en San Juan, 2000). In dat geval worden de concentraties in oplossing opnieuw berekend a.h.v. het stelsel van vergelijkingen (10). Het uiteindelijk resultaat van de routine is de concentratie in oplossing C_w^i voor elke component i (in deze methodiek elk TPH-blok) in het mengsel, en de volumetrische fractie van de puur product fase. Daarnaast wordt de residuele NAPL-verzadiging S_r^{NAPL} berekend zodanig dat de gebruiker kan inschatten of de NAPL-fase zelf ook nog mobiel is onder invloed van zwaartekracht en capillaire krachten. Als de residuele verzadiging hoger is dan 20 %, moet hiermee rekening gehouden worden en geeft de methodiek niet het volledige risico op verspreiding.

3.2.1.2 Validatie en toepassing

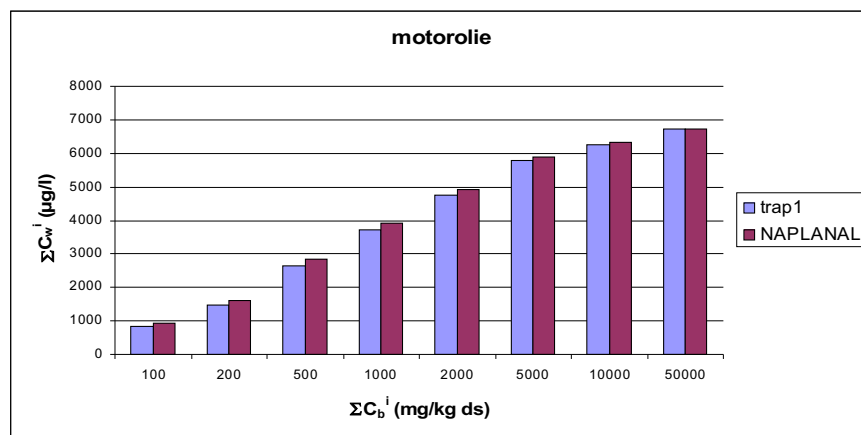
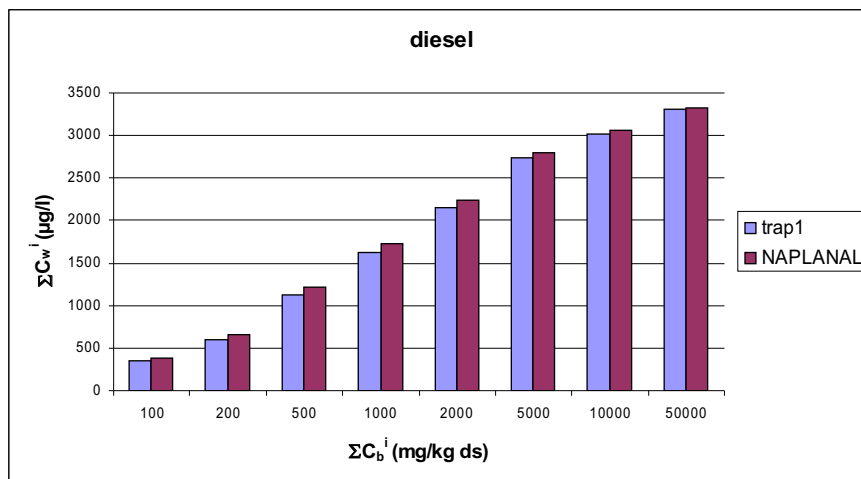
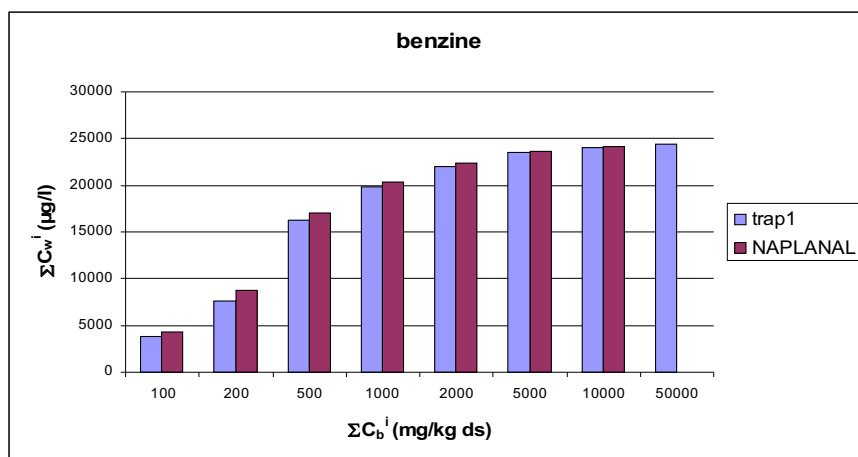
De resultaten van de Excel-routine zijn vergeleken met de resultaten van de NAPLANAL code (Mariner et al., 1997) voor drie types van minerale olie verontreiniging. NAPLANAL is een code ontworpen om op basis van de bulkconcentraties van NAPL-componenten de concentratie in oplossing te voorspellen. De gebruiker kan daarbij gebruik maken van geprogrammeerde databanken van stofparameters of zelf een databank van fysico-chemische parameters ingeven. Deze code wordt hier gebruikt als referentie om de resultaten van de Excel-routine te valideren.

Voor de verschillende types van minerale olie verontreiniging is er een 'typische' bloksamenstelling ingevoerd op basis van Nouwen et al. (2002). Het aandeel van de verschillende blokken in de benzine, diesel en motorolie verontreiniging is weergegeven in Tabel 2. De waarden zijn afgeleid van productinformatie verstrekt door fabrikanten, maar kunnen niet noodzakelijk als representatief beschouwd worden voor een minerale olie verontreiniging op het terrein. Bij een verontreiniging op het terrein is de samenstelling onzeker, is het niet altijd eenvoudig om vast te stellen om welk type verontreiniging het gaat en kunnen verschillende types van verontreiniging gemengd voorkomen. Daarbij komt dat de bloksamenstelling ook afhankelijk is van de graad van verwerking van de verontreiniging.

Gew.%	benzine	diesel	motorolie
Alifaten			
EC ₅₋₆	30		
EC _{>6-8}	39		9
EC _{>8-10}	10	1	13
EC _{>10-12}		8	9
EC _{>12-16}		47	12
EC _{>16-21}		22	3
Aromaten			
EC _{>8-10}	15	2	5
EC _{>10-12}	6	1	3
EC _{>12-16}		11	8
EC _{>16-21}		7	29
EC _{>21-35}			7

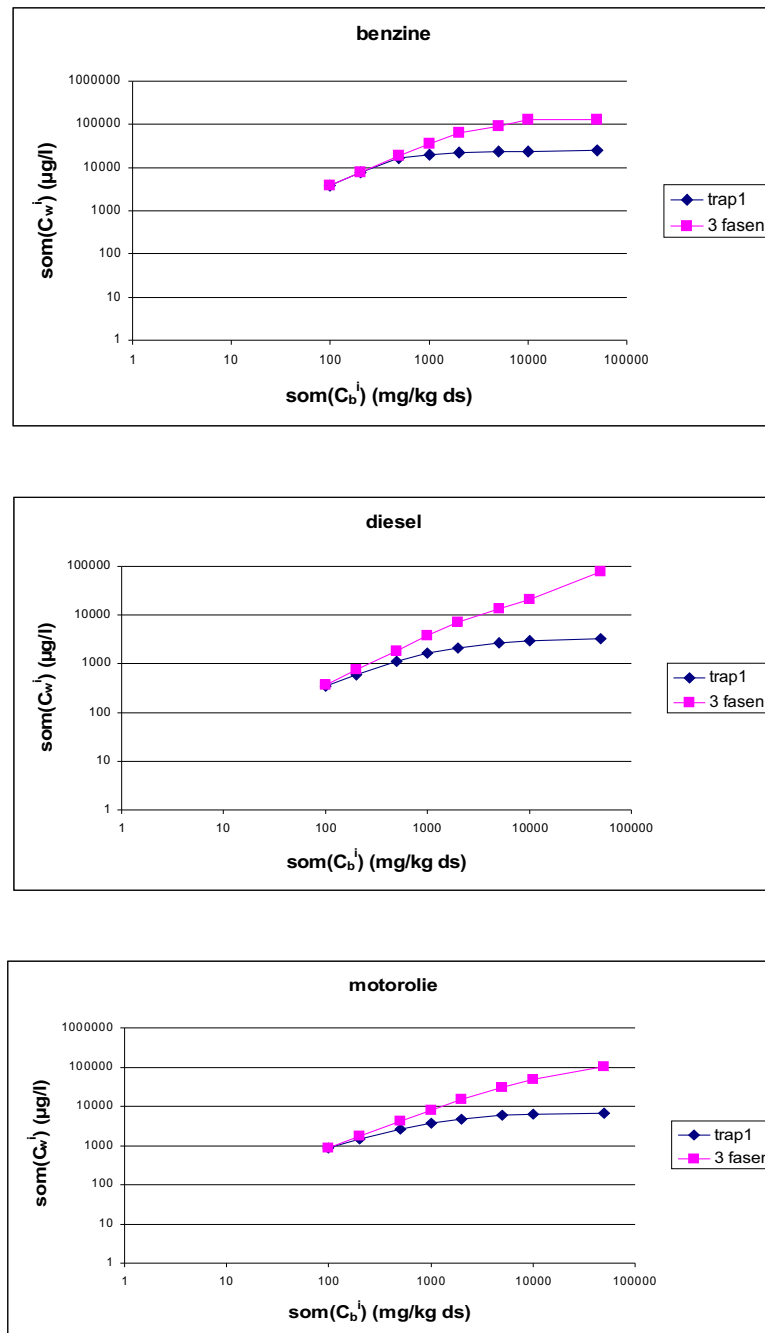
Tabel 2: Indicatieve samenstelling voor drie types van minerale olie verontreiniging (naar Nouwen et al., 2002)

Uit de resultaten in Figuur 2 blijkt dat beide programma's zeer vergelijkbare concentraties voorspellen. Het verschil tussen de concentraties in beide codes bedraagt gemiddeld 5% en nooit meer dan 11%. Door numerische fouten kon NAPLANAL geen concentratie in oplossing berekenen voor een bulkconcentratie van benzine van 50000 mg/kg ds. Op basis van deze resultaten kunnen de berekeningen van de Excel-routine als voldoende betrouwbaar en accuraat beschouwd worden.



Figuur 2: Vergelijking van concentraties in oplossing berekend volgens de methodiek van trap 1 en met de code NAPLANAL

In Figuur 3 wordt de vergelijking gemaakt tussen de berekeningen in trap 1 en de berekening van de concentratie in oplossing uitgaande van een drie-fasen systeem (geen puur product aanwezig). Dezelfde samenstellingen uit Tabel 2 zijn gebruikt. Ook hier is het niet de bedoeling om representatieve kritische waarden te geven voor een verontreiniging met benzine, diesel of motorolie maar wel om aan te tonen wat het effect is van het in rekening brengen van mengselgedrag en van een verschillende bloksamenstelling op het risico op uitloging.



Figuur 3: Berekende concentraties in oplossing voor een 3-fasen systeem en volgens de ontwikkelde methodiek in trap 1 voor een benzine, diesel en motorolie verontreiniging

Wanneer beide curven in Figuur 3 samenvallen, is er volgens de methodiek in trap 1 geen vierde fase (puur product) aanwezig en zijn de berekende concentraties gelijk. Bij stijgende concentraties is er wel een NAPL-fase aanwezig en zijn de concentraties in oplossing voorspeld volgens de methodiek in trap 1 lager. De curve voor het drie fasen-systeem is in principe lineair, maar wordt bij hoge concentraties afgevlakt door de maximale wateroplosbaarheid van de verschillende componenten (voor elke component kan de concentratie in de waterfase C_w maximaal gelijk zijn aan de wateroplosbaarheid S). Het in rekening brengen van het optreden van een vierde fase en van mengselgedrag leidt tot lagere en meer realistische berekende concentraties in de waterfase. Vanaf welke bulk concentratie een vierde fase aanwezig is, is afhankelijk van het type van minerale olie.

Afhankelijk van welke blokken aanwezig zijn in het mengsel en in welke concentratie is de berekende concentratie in oplossing bij eenzelfde bulkconcentratie verschillend. Dit toont aan dat een karakterisatie van de minerale olieverontreiniging noodzakelijk is om uitspraken te kunnen doen over het risico op uitloging.

3.2.2 Dilutiefactoren

De concentratie van de stof in het bodemwater wordt verdund door het grondwater. Daarom wordt de concentratie in bodemwater gedeeld door een verdunningsfactor DF om de concentratie in grondwater te berekenen. Deze verdunningsfactor kan berekend worden volgens (voor afleiding zie Handleiding uitloging, Joris et al., 2005):

$$DF = \frac{k \cdot i \cdot M_z + L \cdot q}{L \cdot q} \quad (11)$$

met: k is de hydraulische geleidbaarheid van de freatische laag (m/j)
 i is de potentiaalgradiënt (m/m)
 M_z is de mengdiepte (m)
 L is de lengte van het terrein waarover het grondwater verontreinigd wordt (m)
 q is de infiltratie in de onverzadigde zone (m/j)

De mengdiepte wordt gegeven door (EPA, 1996):

$$M_z = \sqrt{0.0112 \cdot L^2} + d_a \left(1 - e^{\left(\frac{-L \cdot q}{k \cdot i \cdot d_a}\right)}\right) \quad M_z \leq d_a \quad (12)$$

met: d_a is de dikte van de freatische laag (m)

Indien de nodige geo-hydrologische gegevens voor de oplossing van vergelijking (11) niet ter beschikking zijn, kan de verdunningsfactor op basis van het Kaartblad afgelezen worden uit Bijlage A.

3.2.3 Grondwatercriteria

De berekende concentratie in grondwater moet getoetst worden aan een grondwatercriterium. Behalve voor benzeen en tolueen zijn er geen bodemsaneringsnormen voor grondwater opgenomen in Vlarebo. Er wordt gebruikt gemaakt van de toetsingswaarden voorgesteld door Nouwen et al. (2002).

	Toetsingswaarden voor grondwater (µg/l)
Alifaten	
EC ₅₋₆	6000
EC _{>6-8}	6000
EC _{>8-10}	300
EC _{>10-12}	300
EC _{>12-16}	300
EC _{>16-21}	6000
Aromaten	
benzeen	10*
tolueen	700*
EC _{>8-10}	120
EC _{>10-12}	120
EC _{>12-16}	120
EC _{>16-21}	90
EC _{>21-35}	90

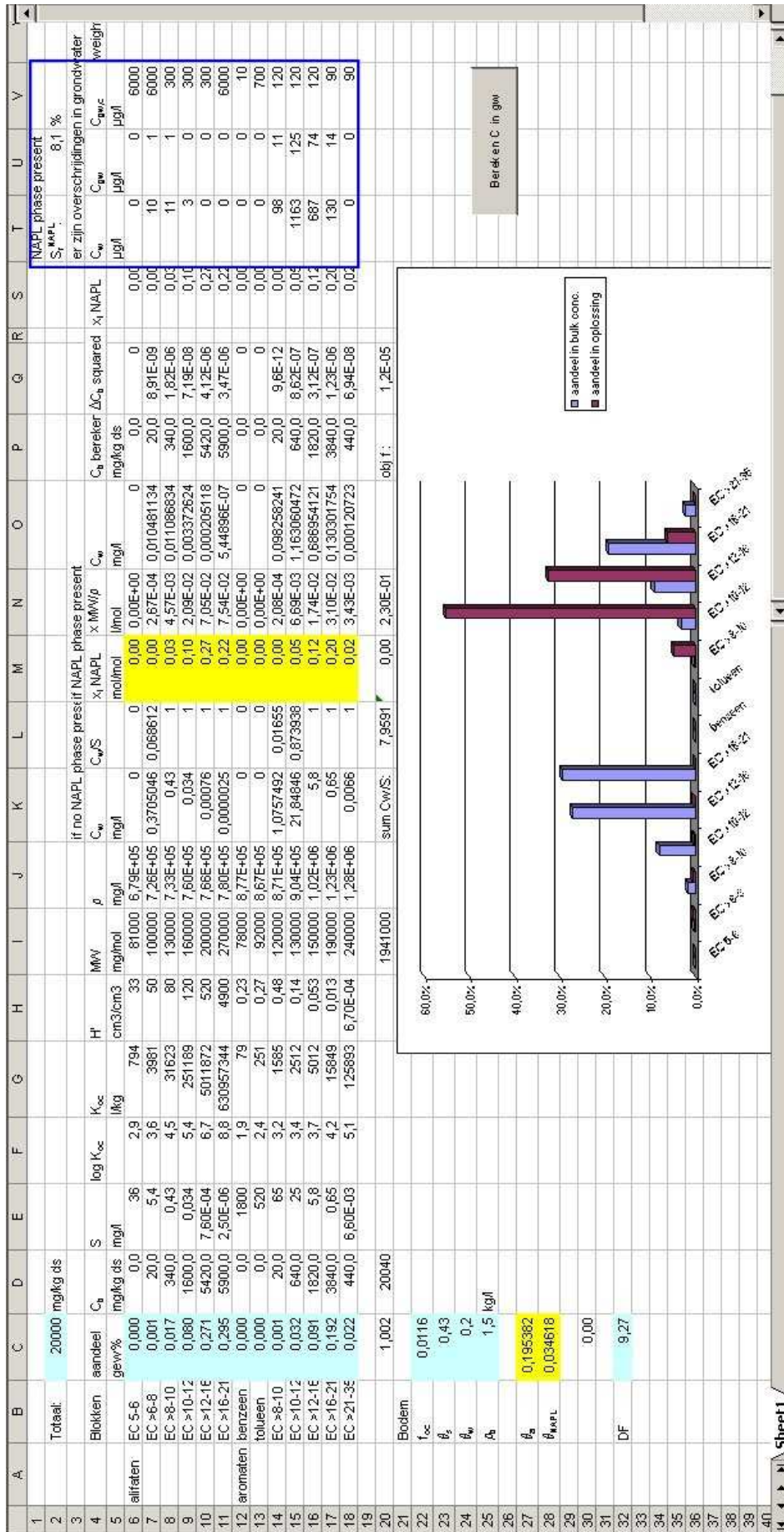
* normen volgens Vlarebo Bijlage 4

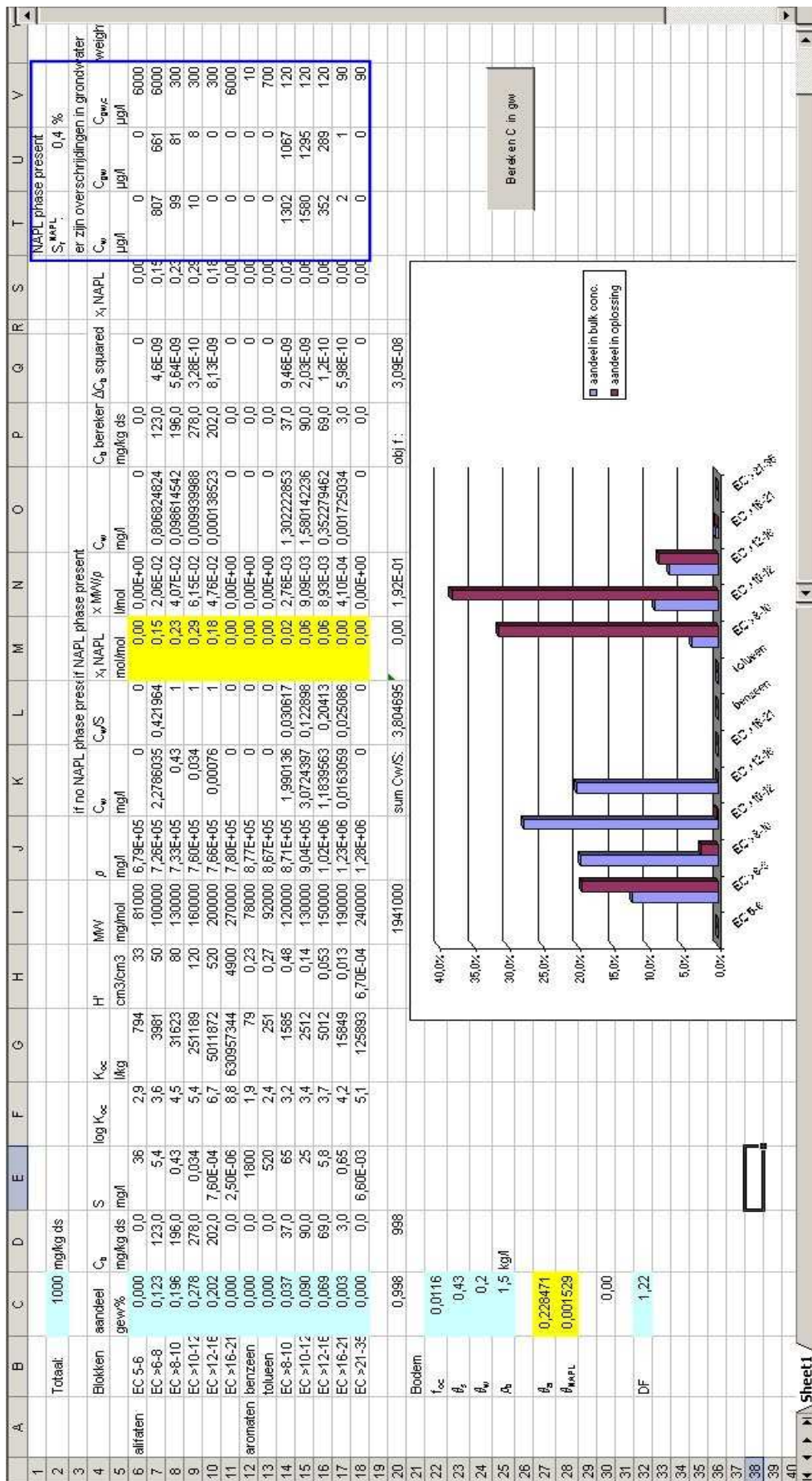
Tabel 3: Toetsingswaarden voor grondwater voor de verschillende blokken (voor benzeen en tolueen zijn de BSN opgenomen in Vlarebo weergegeven)

3.2.4 Voorbeeldberekeningen

Zoals hoger reeds beschreven, zijn de berekeningen geprogrammeerd in Excel. Figuren 4 en 5 tonen een weergave van het rekenscherf. Van de gebruiker wordt als invoer het totaalgehalte minerale olie en het gewichtsaandeel van de verschillende blokken gevraagd, een waarde voor de verdunningsfactor, fractie organische koolstof, droge stofdichtheid en vochtgehalte van de bodem (links op het scherm).

Als uitvoer (rechts op het scherm) worden de concentraties in de waterfase gegeven en of er al dan niet een overschrijding van de grondwatercriteria optreedt. Het programma geeft ook aan of er een vierde fase (puur product) aanwezig is, wat de molaire fracties van de verschillende blokken in de NAPL-fase zijn, hoe groot het volume-aandeel van de NAPL-fase is en wat de residuele NAPL-verzadiging S_r^{NAPL} is.





Figuur 5: Weergave van het invoerscherm voor trap 1 voor een bodem met een kerosineverontreiniging

De concentraties in grondwater zijn berekend voor een bodem met diesilverontreiniging uit Neerpelt (zie Figuur 4) en een bodem met een kerosineverontreiniging uit Brustem (zie Figuur 5). De gewichtsfracties voor de TPH-blokken voor beide bodems zijn gegeven in Tabel 4. De dilutiefactoren gebruikt in de berekening zijn afgelezen in Bijlage A en zijn resp. 9,27 voor Neerpelt (Kaartblad 18/1) en 1,22 voor Brustem (Kaartblad 33/7).

gewichtsfractie	bodem Neerpelt	bodem Brustem
Alifaten		
EC ₅₋₆	0,000	0,000
EC _{>6-8}	0,001	0,123
EC _{>8-10}	0,017	0,196
EC _{>10-12}	0,080	0,278
EC _{>12-16}	0,270	0,202
EC _{>16-21}	0,295	0,000
Aromaten		
EC _{>8-10}	0,001	0,037
EC _{>10-12}	0,032	0,090
EC _{>12-16}	0,091	0,069
EC _{>16-21}	0,191	0,003
EC _{>21-35}	0,022	0,000

Tabel 4: Gewichtstaandeel van de verschillende TPH-blokken in de bodemstalen van de sites van Neerpelt en van Brustem

Uit de berekeningen blijkt dat voor de bodem uit Neerpelt bij een totaalconcentratie van 20000 mg/kg ds er slechts voor één blok een lichte overschrijding van de toetsingswaarde is. Voor de bodem uit Brustem daarentegen wordt de toetsingswaarde in grondwater voor 3 aromatische blokken al overschreden bij een totaalconcentratie van 1000 mg/kg ds. Het grote verschil is te wijten aan een combinatie van twee factoren: de kerosineverontreiniging bevat een groter aandeel aan beter oplosbare en mobielere fracties, en de site in Neerpelt heeft een veel hogere dilutiefactor. Bij beide voorbeelden is er sprake van een overschrijding van de toetsingswaarden.. De toetsingswaarde kan verfijnd worden door de dilutiefactor te berekenen volgens vergelijkingen (11) en (12) maar bij deze voorbeelden zijn geen locatiespecifieke gegevens voorhanden om de dilutiefactor te berekenen. Daarom wordt er overgegaan naar trap 2 voor een bron-pad-receptor analyse.

3.3 Trap 2: bron-pad-receptor analyse

Indien de berekende concentratie in grondwater het criterium overschrijdt, moet een risico-evaluatie uitwijzen of receptoren in het grondwater bedreigd worden. Binnen de methodiek voor minerale olie omvat verspreiding enkel verspreiding in bodem en is de receptor het grondwater onder de site. In trap 2 wordt er rekening gehouden met afstand tussen bron en receptor, de positie en de diepte van de verontreiniging in de onverzadigde zone en de verdunning van de verontreinigingspluim door dispersie, sorptie, vervluchtiging en afbraak in de onverzadigde zone en menging met het grondwater.

3.3.1 Berekenen van tijdsafhankelijke bronterm

Aangezien de oplosbaarheid van de verschillende componenten beïnvloed wordt door hun relatieve aandeel in de NAPL-fase, en de samenstelling van de NAPL-fase verandert met de tijd wanneer makkelijk oplosbare stoffen sneller verdwijnen, is het mogelijk dat de concentraties van vooral zwaardere componenten toenemen met de tijd. Dat maakt een beschrijving van het verloop in de tijd van de concentraties in oplossing in de bron noodzakelijk.

Het verlies aan massa door uitloging uit de bron tijdens een tijdstap kan beschreven worden door (in de veronderstelling dat massa enkel verdwijnt door uitloging en vervluchtiging):

$$M_T^{t+\Delta t} = M_T^t - 1000C_w q A \Delta t - 1000C_w D_{eff} H' \frac{\theta_a}{L_d} A \Delta t \quad (13)$$

met: $M_T^{t+\Delta t}$ de totale massa in het volume van de bron op tijdstip $t+\Delta t$ (mg)
 M_T^t de totale massa in het volume van de bron op tijdstip t (mg)
 C_w de concentratie in de bron in de waterfase (mg/l)
 A de oppervlakte van de bron (m^2)
 q de infiltratie flux (m/j of $m^3/m^2 \cdot j$)
 D_{eff} de effectieve diffusiecoëfficiënt (m^2/j)
 L_d de diffusielengte (van het midden van de verontreinigde laag tot het oppervlak) (m)
 Δt grootte van de tijdstap (j)

waarbij

$$D_{eff} = \frac{\theta_a^{10/3}}{\theta_s^2} D_a \quad (14)$$

met D_a de diffusiecoëfficiënt in lucht (m^2/j)

Het verband tussen massa in de bronzone en bulkconcentratie kan als volgt uitgedrukt worden:

$$M_T^t = 1000C_b \rho_b A d_f \quad (15)$$

met: C_b bulk concentratie (mg/kg ds)
 ρ_b droge stofdichtheid (kg ds/l)
 A oppervlakte van de bron (m^2)
 d_f dikte van de verontreinigde laag (m)

Door (15) in te brengen in (13) en te combineren met vergelijking (10) bekomt men:

$$M_T^{t+\Delta t} = 1000C_w A \left(d_f \left[H'_i \theta_a + f_{oc} K_{oc}^i \rho_b + \theta_w + \frac{MW_i \theta_{NAPL}}{S_i \sum \left(x_i MW_i / \rho_i \right)} \right] - q \Delta t - \frac{D_a H' \theta_a^{13/3} \Delta t}{\theta_s^2 L_d} \right) \quad (16)$$

Hieruit kan opnieuw de bulkconcentratie op het nieuwe tijdstip (na verloop van tijdstap Δt) bepaald worden analoog aan vergelijking (15)

$$C_b^{t+\Delta t} = \frac{M_T^{t+\Delta t}}{1000 \rho_b A d_f} = \frac{C_w^i}{\rho_b} \left[H_i' \theta_a + f_{oc} K_{oc}^i \rho_b + \theta_w + \frac{MW_i \theta_{NAPL}}{S_i \sum (x_i MW_i / \rho_i)} - \frac{q \Delta t}{d_f} - \frac{D_a H' \theta_a^{13/3} \Delta t}{\theta_s^2 L_d d_f} \right]$$

(17)

Het berekenen van de concentratie in de waterfase $C_w^{t+\Delta t}$ op het nieuwe tijdstip uit de bulkconcentratie $C_b^{t+\Delta t}$ gebeurt via hetzelfde iteratieve proces dat is toegepast in trap 1.

Door de hele bewerking te herhalen voor elke tijdstap, wordt het verloop van de concentratie in oplossing C_w met de tijd bekomen. Deze tijdsafhankelijke bronterm wordt vervolgens gebruikt als randvoorwaarde voor het transport door onverzadigde zone.

3.3.2 Transport door onverzadigde zone

Het transport door onverzadigde zone wordt op dezelfde manier berekend als in de methodiek voor uitloging. Voor een uitgebreide beschrijving van de parameters, aannames en scenario's wordt verwezen naar de rapporten ter zake (Seuntjens et al., 2005; Joris et al., 2005).

De verspreiding van contaminanten in het bodem/grondwater continuüm wordt wiskundig uitgedrukt onder de vorm van de convectie-dispersie vergelijking (CDE, hier weergegeven voor één dimensionaal stoftransport):

$$\frac{\partial \theta_w C_w}{\partial t} + \frac{\partial \rho_b C_s}{\partial t} + \frac{\partial \theta_a C_a}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} (\theta_w D \frac{\partial C_w}{\partial z}) + \frac{\partial}{\partial z} (\theta_a D_{eff} \frac{\partial C_a}{\partial z}) - \frac{\partial j_w C_w}{\partial z} - (\mu_w \theta_w C_w - \mu_s \rho_b C_s - \mu_a \theta_a C_a) \quad (18)$$

met: C_w concentratie van de bodemoplossing (mg/l)
 C_a concentratie in de bodemlucht (mg/l)
 C_s concentratie op de vaste fase (mg/kg ds)
 D longitudinale dispersiecoëfficiënt (m²/j)
 D_{eff} effectieve diffusiecoëfficiënt (m²/j)
 j_w waterflux (m/j) (
 ρ schijnbare droge dichtheid (kg ds/l)
 θ_w volumetrisch vochtgehalte (cm³/cm³)
 θ_a volumetrisch luchtgehalte (cm³/cm³)
 μ_w, μ_a, μ_s eerste-orde afbraakconstanten in de water-, lucht- en vaste fase (1/j)

In de CDE zijn de volgende processen vervat:

- convectie: beweging met het bodemwater mee;
- diffusie: in de water- en luchtfase;
- dispersie: spreiding ten gevolge van poreuze en heterogene karakter van de bodemmatrix;
- sorptie: reactie van de contaminant met de vaste fase van de bodem door reversiebele sorptie;
- afbraak in verschillende bodemfasen;
- vervluchtiging.

De waterstroming j_w wordt verondersteld stationair te zijn. De wiskundige oplossing van de CDE voorspelt de contaminantconcentratie $c(x, t)$ op plaats x op tijd t voor een gegeven initiële conditie

(bv. een bron op een bepaalde diepte onder het bodemoppervlak, ...) en gekende randvoorwaarden (bv. de verontreiniging blijft lekken uit de onverzadigde zone, maar neemt af in de tijd). De berekende concentratie in een receptor in relatie tot de concentratie in de bron bepaalt de attenuatie die een contaminant ondergaat op de weg van bron naar receptor. De transportvergelijking kan wiskundig opgelost worden via analytische of numerieke technieken. Voor de analytische oplossing voor welbepaalde scenario's is een beroep gedaan op de CXTFIT-code (Toride en Leij, 1995). Voor in- en uitvoer van de berekeningen is er een gebruikersinterface geprogrammeerd in Excel.

Voor de onverzadigde zone wordt het bodemprofiel tussen de afgebakende bron en het grondwater beschouwd. Als randvoorwaarde voor dit compartiment wordt de tijdsafhankelijke flux uit de bron opgelegd. Als invoer wordt de totaalconcentraties voor de TPH-blokken, de infiltratieflux, dikte van de totale onverzadigde zone en van de verontreinigde laag, diepte van de bron, droge stofdichtheid, vochtgehalte, lengte van de bronzone en tijdsduur van de berekening gevraagd. Daarnaast moeten ook halfwaardetijden voor de verschillende blokken gegeven worden indien afbraak mee in rekening wordt gebracht. De gebruiker kan kiezen om de berekening al dan niet met vervluchting en/of afbraak uit te voeren.

Voor de verzadigde zone wordt de gebruiker gevraagd de potentiaalgradiënt, de verzadigde conductiviteit en de initiële concentraties in te geven om de verdunning van het bodemwater in grondwater te berekenen.

Bij het uitvoeren van de berekening worden eerst de concentraties in de waterfase uit de bron in functie van de tijd berekend. Vervolgens lost de software in de achtergrond de transportvergelijking voor de onverzadigde zone op en berekent de concentraties in het bodemwater onderaan de verzadigde zone. Vervolgens wordt de verdunning in het grondwater in rekening gebracht.

3.3.3 Voorbeeldberekeningen

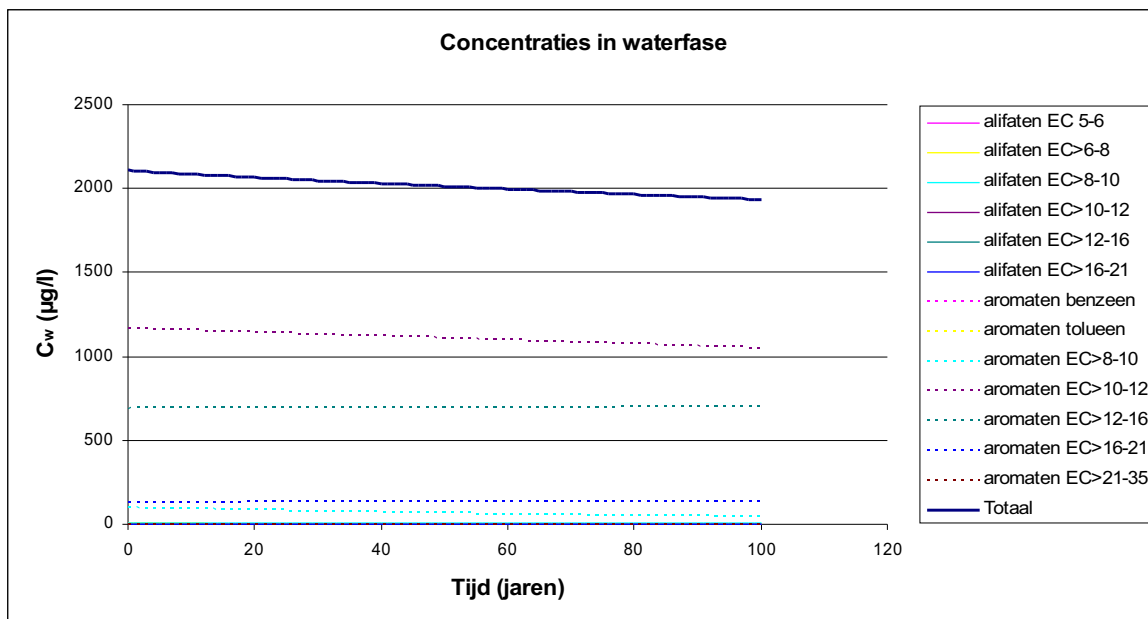
Ter illustratie is voor de twee voorbeelden uit 3.2.4 doorgerekend wat de tijdsafhankelijke concentraties in de bron en in het grondwater onder de site zijn. Voor beide gevallen is uitgegaan van een situatie met een verontreinigde laag van 0,5 m dikte die zich op 0,5 m diepte onder het oppervlak bevindt. De totale dikte van de onverzadigde zone is 1,5 m.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	
1																	
2	Onverzadigde zone										Freatische laag						
3	infiltratietflux (q)		0,265 m/j			Is er vervuhtiging in de onverzadigde zone						gradient (i)	0,005 m/m				
4	bulkdensiteit (ρ)		1,5 kg/l					Da (m²/j)	k			verzadigde doorlaatbaa	3650 m/j				
5	vochtgehalte (θ _v)		0,2 cm³/cm³			alifaten	EC 5-6	3,15E+02	9,3745036								
6	τ ₀		0,0116 -				EC >6-8	3,15E+02	3,8046634								
7	dispersie coëff (D)		1,99E-01 m²/j				EC >8-10	3,15E+02	0,8681522								
8	dikte onverzadigde zone (d ₁)		1,5 m				EC >10-12	3,15E+02	0,1684871			dikte freatische laag (d _a)	25 m				
9	dikte verontreinigde laag		0,5 m				EC >12-16	3,15E+02	0,0367776								
10	diepte verontreinigde laag		0,5 m				EC >16-21	3,15E+02	0,0027564			Mengdiepte (M _D)	3,006142 m				
11	lengte bronzone (L)		25 m			aromaten	benzeen	2,72E+02	0,7486007			Dilutiefactor DL	9,281071				
12	vol. luchtgehalte (θ _g)		0,23396 cm³/cm³				tolueen	2,53E+02	0,2892332								
13							EC >8-10	3,15E+02	0,1063008								
14	Initiële concentraties in bronzone										Concentratie in grondwater (representatief voor de site)						
15	alifaten	EC 5-6		0 mg/kg ds			EC >10-12	3,15E+02	0,0196792		alifaten	EC 5-6	0 µg/l				
16		EC >6-8		20			EC >12-16	3,15E+02	0,0037446			EC >6-8	0				
17		EC >8-10		340			EC >16-21	3,15E+02	0,0002909			EC >8-10	0				
18		EC >10-12		1600			EC >21-35	3,15E+02	1,889E-06			EC >10-12	0				
19		EC >12-16		5400		Is er afbraak in de onverzadigde zone n						EC >12-16	0				
20		EC >16-21		5900		Zo ja, halfwaardetijden:						EC >16-21	0				
21	aromaten	benzeen		0		alifaten	EC 5-6				aromaten	benzeen	0				
22		tolueen		0			EC >6-8					tolueen	0				
23		EC >8-10		20			EC >8-10					EC >8-10	0				
24		EC >10-12		640			EC >10-12					EC >10-12	0				
25		EC >12-16		1820			EC >12-16					EC >12-16	0				
26		EC >16-21		3820			EC >16-21					EC >16-21	0				
27		EC >21-35		440		aromaten	benzeen					EC >21-35	0				
28							tolueen										
29							EC >8-10										
30							EC >10-12										
31							EC >12-16										
32							EC >16-21										
33							EC >21-35										
34																	
35	Tijdsduur van transportberekening (T)			500	(indicatieve waarde: 569,83013)		jaren										
36	Tijdsduur van uitloging			100													
37																	
38																	
39	invoer / C(t) / Sheet1 / cxtfr01 / cxtfr01 (2) / overgang OZ-VZ /																

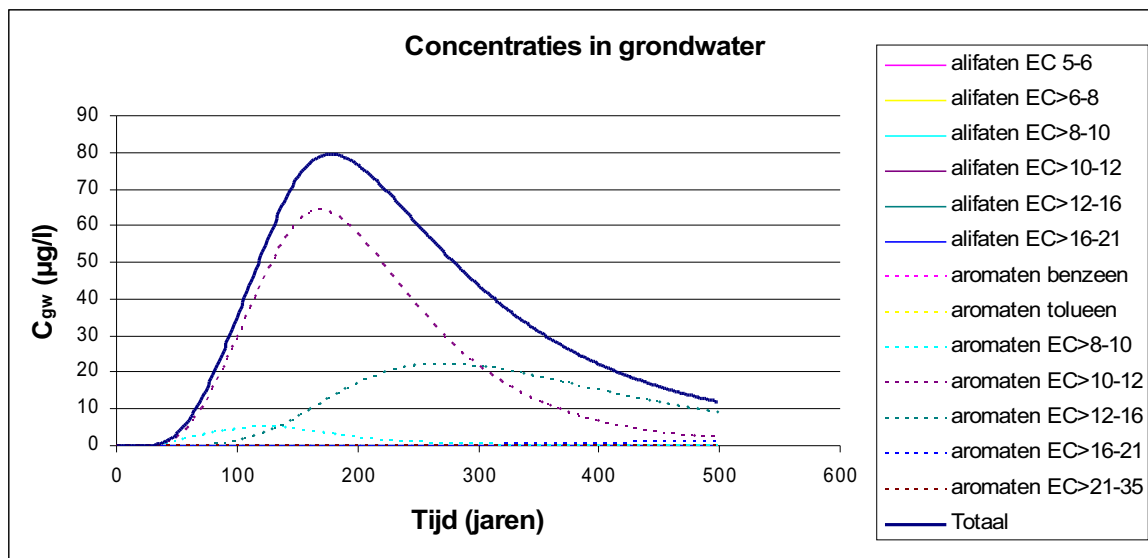
Figuur 6: Weergave van het invoerscherm voor de berekeningen in trap 2

Een weergave van het invoerscherm is gegeven in Figuur 6. De berekende concentraties in oplossing voor de verschillende blokken in functie van de tijd zijn gegeven in Figuur 7. De concentraties van de verschillende blokken neemt niet met dezelfde snelheid af en de relatieve samenstelling van de waterfase in de bron verandert met verloop van de tijd. De lichtere en meer oplosbare fracties verdwijnen sneller uit de verontreiniging.

De berekende concentraties in het grondwater zijn weergegeven in Figuur 8. Bij het transport door de onverzadigde zone en verdunning in het grondwater treedt er een aanzienlijke attenuatie van de concentraties op (initiële maximale totaalconcentratie in bronterm 2100 µg/l, maximale totaalconcentratie in grondwater 80 µg/l). Uit een vergelijking van de maximale concentratie in grondwater per blok met de toetsingswaarde blijkt dat er geen overschrijdingen optreden. De conclusie van de bron-pad-receptor analyse is dus dat de dieselverontreiniging in deze bodem geen risico voor uitloging vormt.



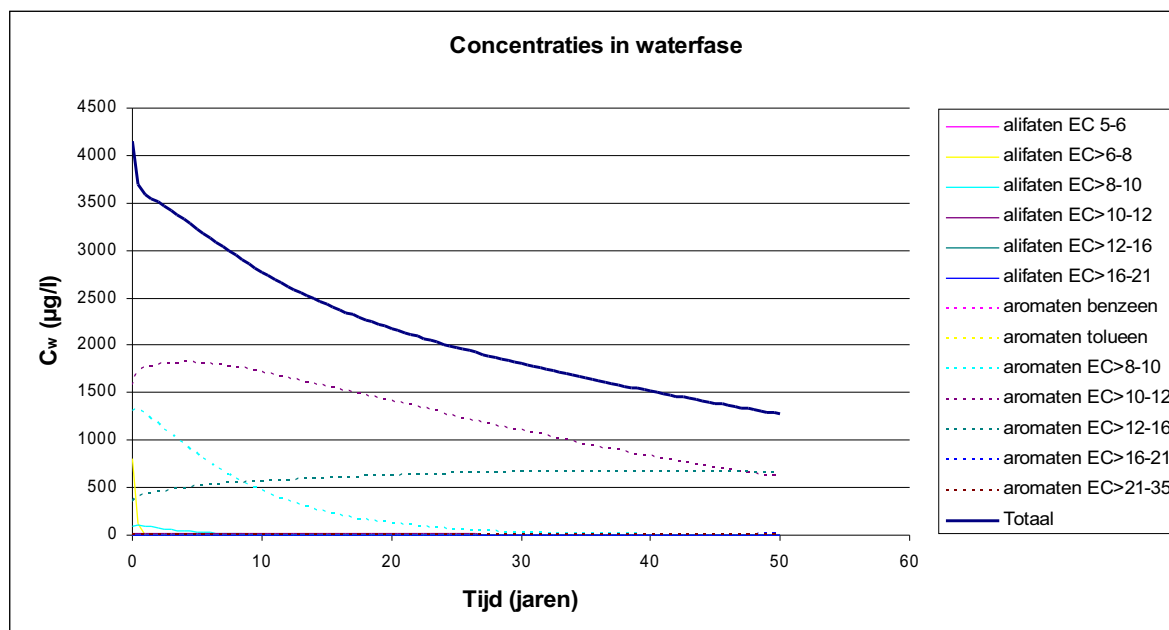
Figuur 7: Tijdsafhankelijke bronterm voor de bodem met dieserverontreiniging (Neerpelt)



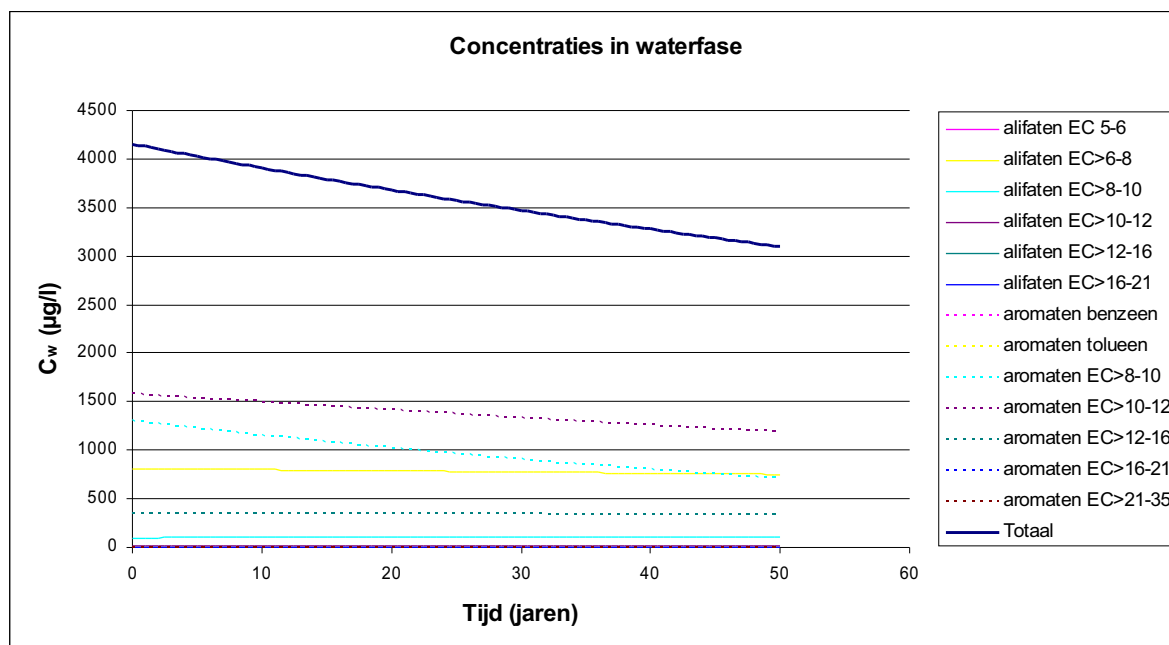
Figuur 8: Concentraties in het grondwater voor de bodem met dieserverontreiniging (Neerpelt)

Dezelfde analyse is uitgevoerd voor de bodem met kerosineverontreiniging (Brustem). In Figuur 9 worden de berekende concentraties in oplossing in de bron vergeleken wanneer vervluchtiging al dan niet in rekening gebracht wordt. Voor de bodem met kerosineverontreiniging blijkt vervluchtiging uit de bron een belangrijke rol te spelen. De alifatische fracties EC 6-8 en EC >8-10 verdwijnen binnen de eerste jaren uit de bron en de totaalconcentratie in oplossing neemt af van 4150 µg/l naar 1280 µg/l binnen 50 jaar i.p.v. tot 3100 µg/l in dezelfde periode wanneer geen rekening gehouden wordt met vervluchtiging.

(a)

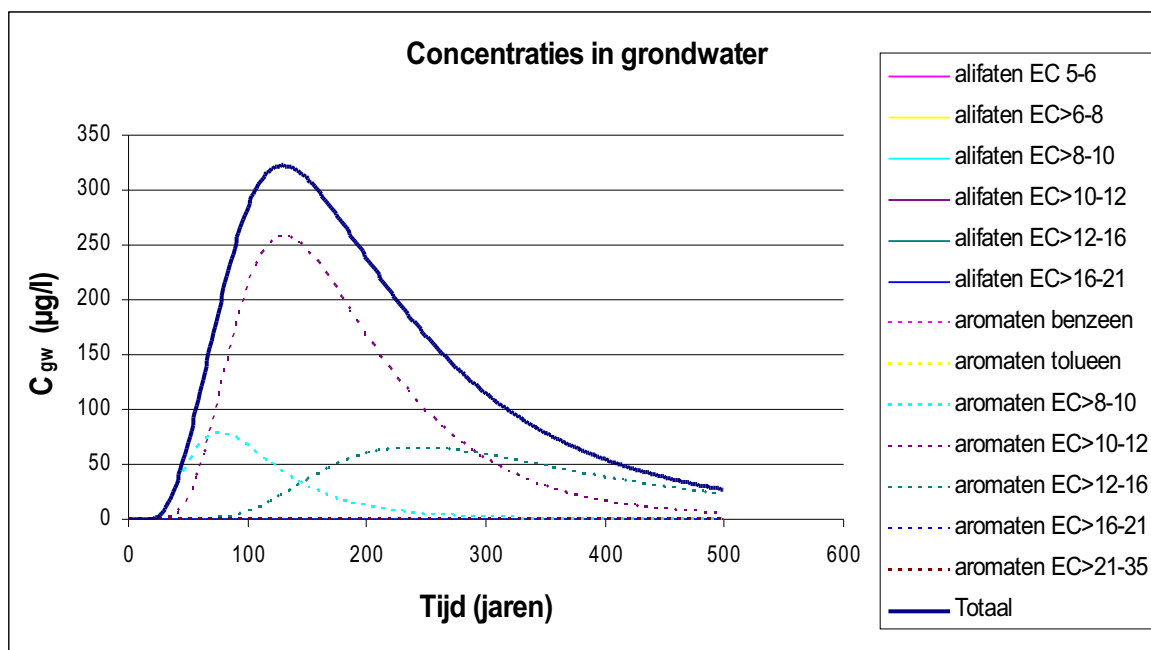


(b)

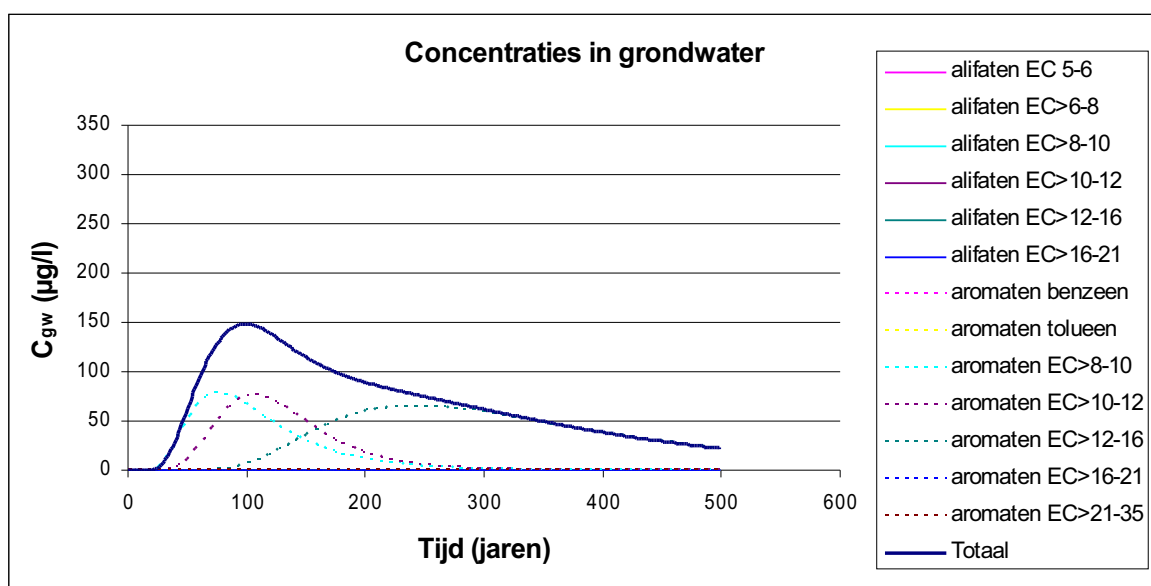


Figuur 9: Tijdsafhankelijke concentraties in de bron van de bodem met kerosineverontreiniging (Brustem) met (a) uitloging en vervluchtiging, en (b) enkel uitloging

(a)



(b)



Figuur 10: Concentraties in grondwater voor de bodem met kerosineverontreiniging (a) zonder afbraak en (b) met afbraak in de onverzadigde zone ($t_{1/2}$ ar EC 10-12=0,25 j)

De berekende concentraties in het grondwater zijn weergegeven voor twee scenario's: één zonder afbraak in onverzadigde zone (zie Figuur 10a) en één met afbraak in de onverzadigde zone van het blok aromaten EC_{>10-12} (zie Figuur 10b). Voor de bronterm is de tijdsafhankelijke concentratie rekening houdend met uitloging en vervluchtiging gebruikt (zie Figuur 9a). In het afbraakscenario is een geschatte waarde voor de halfwaardetijd van n-butylbenzeen in de bodem gebruikt ($t_{1/2 \text{ bodem}}=0,25 \text{ j}$; HSDB-databank). Voor beide scenario's is er een aanzienlijk attenuatie door transport door de onverzadigde zone en verdunning in het grondwater (maximale totaalconcentratie in het grondwater 322 µg/l (geen afbraak) en 149 µg/l (afbraak) versus 4150 µg/l in de bronzone); in het scenario met afbraak is er voor geen enkele van de fracties nog een overschrijding van de toetsingswaarden in grondwater.

Het in rekening brengen van afbraak kan een grote invloed hebben op de berekende concentraties in het grondwater. Hiertoe moeten de gepaste afbraakconstanten door de gebruiker geleverd worden. Afbraak wordt in het model beschouwd als een eerste orde reactie en voor elk blok moet een halfwaardetijd ingegeven worden. Deze waarden moeten bij voorkeur gemeten worden op basis van bodemstalen van de site zelf, of moeten verdedigbaar zijn op basis van de belangrijkste componenten aanwezig in de minerale olie verontreiniging en literatuurwaarden. Het gebruik van literatuurwaarden gaat echter gepaard met grote onzekerheden aangezien biodegradatie van minerale olie componenten sterk bepaald wordt door de veldcondities (zuurstofgehalte, pH, vocht, nutriëntenconcentraties, microbiota) en de keuze dient conservatief te gebeuren (bv 90 percentiel van gerapporteerde relevante literatuurwaarden voor halfwaardetijden).

3.4 Multifase modellering

Indien uit de berekeningen in trap 2 blijkt dat er een risico voor uitloging bestaat, of indien veldwaarnemingen erop wijzen dat een procesbeschrijving van de beweging van de NAPL-fase noodzakelijk is voor de beschrijving van het risico op verspreiding, kan de bodemsaneringsdeskundige ervoor kiezen een meer doorgedreven modellering uit te voeren. Voorbeelden van numerieke modellen die multifase transport beschrijven zijn MOFAT, HSSM, SWANFLOW.

3.4.1 MOFAT

MoFat is een model dat toelaat om op lokale schaal verdeling in de bodem te berekenen. Hierbij wordt rekening gehouden met verliezen/verspreiding naar de buitenlucht en het grondwater. Het is een twee dimensioneel eindig elementen model voor het simuleren van gekoppelde multi-fase en multi-componenten transport. MoFat berekent transport voor water, NAPL (nonaqueous phase liquid – puur product) en gas in de bodem. Het model kan de partitie tot 5 stoffen simultaan tussen de verschillende fasen modelleren. Hierbij wordt aangenomen dat er of lokale evenwichtsinterfase massatransport optreedt of eerst-orde massatransportkinetiek. Meer informatie kan worden verkregen via http://www.scisoftware.com/products/mofat_overview/mofat_overview.html.

3.4.2 HSSM

HSSM (Hydrocarbon Spill Screening Model) is ontworpen voor de simulatie van het transport van LNAPL (light non-aqueous phase liquids) in homogene bodems. Het model bevat aparte modules voor LNAPL-stroming door de onverzadigde bodem, verspreiding in de capillaire zone en transport van opgeloste LNAPL componenten in de freatische zone. De modules zijn gebaseerd op vereenvoudigde conceptualisaties van stromings- en transportgedrag om een benaderend maar praktisch model te bekomen.

Verspreiding in de capillaire zone wordt radiaal beschouwd en onafhankelijk van de regionale watertafelgradiënt. Advectief-dispersief transport van de opgeloste componenten in de verzadigde zone is afhankelijk van de regionale grondwaterstroming. De bronzone bevindt zich aan het bodemoppervlak en kan een constante flux, een volumebron of een constante druk bron zijn. Een

tijdsafhankelijke bronterm voor het aquifer transport wordt berekend door de modules KOPT en OILENS. Bodemeigenschappen worden geschat met de regressievergelijkingen van Rawls en Brakensiek (1985).

Het model heeft zowel een Windows als DOS interface en geeft als grafische uitvoer verzadigingsprofielen en receptor concentraties.

Ontwerpers: J.W. Weaver, and B.K. Lien (EPA R.S. Kerr Env. Res. Lab.), R.J.J. Charbeneau (University of Texas at Austin), and J.B. Provost (Computer Sciences Corporation).

Verdere informatie: <http://typhoon.mines.edu/software/igwmcsoft/>

3.4.3 SWANFLOW

SWANFLOW is een 3-dimensioneel eindige-elementen programma dat de stroming van water en een niet-mengbare NAPL-fase simuleert in verzadigde en onverzadigde omstandigheden. Toepassingsmogelijkheden zijn de migratie van organische componenten, effecten van remediatie ingrepen op sites waar niet-mengbare vloeistoffen voorkomen en evaluatie van de verspreiding en remediatie van brandstoflekken.

De modelvergelijkingen beschrijven 3-fase stroming in poreuze media. Drukgradiënten in de gasfase worden als verwaarloosbaar beschouwd (gastransport wordt niet gemodelleerd). Viscositeit en densiteit van water en NAPL zijn druk-onafhankelijk. Relatieve permeabiliteit en capillaire druk zijn functie van de graad van waterverzadiging; relatieve permeabiliteit voor de NAPL-fase is functie van water en luchtverzadiging. Luchtverzadiging is afhankelijk van de NAPL-druk. Randvoorwaarden die kunnen opgelegd worden zijn gekende flux, gekende drukhoogte of een flux afhankelijk van de drukhoogte aan de grenzen.

SWANFLOW is getoetst aan analytische oplossingen en aan andere numerieke modellen. Het model heeft een DOS-interface en het gebruik ervan is data-intensief.

4 Referenties

Ontwerpers: C.R. Faust and J.O. Rumbaugh (GeoTrans, Inc.)

Verdere informatie: <http://typhoon.mines.edu/software/igwmcsoft/> Referenties
EPA, 1996. Soil screening guidance: user's guide. 39 pp.

HSDB, Hazardous Substances Data Bank, <http://toxnet.nlm.nih.gov>.

Joris, I., Seuntjens, P., Cornelis, C., Bronders, J., Vanermen, G., Tirez, K., Lookman, R., Gemoets, J. (2005). Bepaling van risico's door uitloging en beschrijving evolutie van de bodemkwaliteit – Deel 2: Handleiding uitloging. Studie in opdracht van OVAM.

Keller, A.A. (2005). Multiphase flow. Lecture notes from ESM 222 Fate and transport of pollutants, University of California, Santa Barbara,
http://www2.bren.ucsb.edu/~keller/courses/esm222/esm222_11_multiphase.pdf.

Lookman, R., Bertels, D., Gemoets, J., Vanermen, G., Van Houtven, D., Weltens, R., Cornelis, C., Van der Sterren, G., Alphenaar, A., De Vries, P., Hensums, A., Weytingh, K., Hovestadt, A. (2004). Karakterisering van minerale olie. Studie uitgevoerd door VITO; TTE en UT.

Mariner, P.E., Jin, M., Jackson, R.E., 1997. An algorithm for the estimation of NAPL saturation and composition from typical soil chemical analyses. *Ground Water Monitoring and Remediation* 17(2): 122-129.

Mercer, J.W., Cohen, R.M. (1990). A review of immiscible fluids in the subsurface: properties, models, characterization and remediation. *Journal of Contaminant Hydrology* 6: 107-163.

Newell, C.J., Acree, S.D., Ross, R.R., Huling, S.G., 1995. Light Nonaqueous Phase Liquids. EPA Groundwater Issue EPA/540/S-95/500.

Nouwen, J., Cornelis, C., Olivier, I., Provoost, J. (2002). Voorstel voor bodemsaneringsnormen voor minerale olie. Studie in opdracht van OVAM.

Park, H. S., San Juan, C. (2000). A method for assessing leaching potential for petroleum hydrocarbons release sites: multiphase and multisubstance equilibrium partitioning. *Soil and Sediment Contamination* 9(6): 611-632.

Rawls, W.J. and D.L. Brakensiek. 1985. Simulation of soil water properties for hydrologic modeling. *In: Watershed Management in the 80's*. E.B. Jones and T.J. Ward (Eds.) ASCE. New York, NY. 293-299.

Seuntjens, P., Joris, I., Patyn, J., Bronders, J., Cornelis, C. (2005). Bepaling van risico's door uitloging en beschrijving evolutie van de bodemkwaliteit – Deel 1: Opstellen methodiek. Studie in opdracht van OVAM.

Suthersan, S.S. (1996). *Remediation Engineering*, Lewis Publishers Inc, 384 pp.

Toride, N., F. J. Leij, and M. Th. van Genuchten. 1995. The CXTFIT Code for Estimating Transport Parameters from Laboratory or Field Tracer Experiments, Version 2.0. Research Report No. 137, U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, California.

5 Bijlage A: Dilutiefactoren en bodemvochtgehaltes

Per 1/32 kaartblad van de 1:25000 topografische kaarten (spatiale resolutie 5kmx4km) (M_z =dikte van de mengzone (m), DF = dilutiefactor, k =verzadigde hydraulische geleidbaarheid grondwater (m/j), d_a =dikte van de freatische laag (m), i =potentiaalgradiënt (m/m), θ_w =volumetrisch vochtgehalte bodem (cm^3/cm^3), Z=zand, E=klei, U=zware klei, A=leem, P=licht zandleem, S=lemig zand, L= zandleem)

Kaart - blad	1/8	1/4	M_z m	DF	k m/j	d_a m	i m/m	θ_w cm^3/cm^3	Textuur
1	8	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
1	8	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
2	6	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
2	6	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
2	7	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
3	5	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
3	5	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
4	7	4	2	1,33	2190	2	0,001	0,2	"P"
4	8	2	2	1,33	2190	2	0,001	0,2	"P"
4	8	3	2	1,33	2190	2	0,001	0,2	"P"
4	8	4	2	1,33	2190	2	0,001	0,2	"P"
5	5	1	2	1,33	2190	2	0,001	0,2	"P"
5	5	2	2	1,33	2190	2	0,001	0,2	"P"
5	5	3	2	1,33	2190	2	0,001	0,2	"P"
5	5	4	2	1,33	2190	2	0,001	0,2	"P"
5	6	1	2	1,33	2190	2	0,001	0,2	"P"
5	6	2	2	1,33	2190	2	0,001	0,2	"P"
5	6	3	2	1,33	2190	2	0,001	0,2	"P"
5	6	4	2	1,33	2190	2	0,001	0,2	"P"
5	8	3	2	1,33	2190	2	0,001	0,39	E
5	8	4	2	1,33	2190	2	0,001	0,39	E
6	5	3	10	2,1	1460	10	0,001	0,39	E
7	2	3	9,83	2,62	2190	10	0,001	0,2	"P"
7	2	4	10,67	2,76	2190	25	0,001	0,2	"P"
7	3	2	2	1,33	2190	2	0,001	0,09	Z
7	3	3	10,67	2,76	2190	25	0,001	0,09	Z
7	4	1	2	1,33	2190	2	0,001	0,09	Z
7	4	2	2	1,33	2190	2	0,001	0,09	Z
7	4	3	2	1,33	2190	2	0,001	0,09	Z
7	4	4	2	1,33	2190	2	0,001	0,09	Z
7	5	4	2	1,33	2190	2	0,001	0,39	U
7	6	1	2	1,33	2190	2	0,001	0,39	U
7	6	2	10,67	2,76	2190	25	0,001	0,39	U
7	6	3	2	1,33	2190	2	0,001	0,39	U
7	6	4	9,83	2,62	2190	10	0,001	0,39	U
7	7	1	9,83	2,62	2190	10	0,001	0,09	Z
7	7	2	10,99	2,82	2190	50	0,001	0,09	Z
7	7	3	9,83	2,62	2190	10	0,001	0,09	Z
7	7	4	9,83	2,62	2190	10	0,001	0,09	Z
7	8	1	10,99	2,82	2190	50	0,001	0,09	Z
7	8	2	10,99	2,82	2190	50	0,001	0,09	Z
7	8	3	9,83	2,62	2190	10	0,001	0,09	Z
7	8	4	9,83	2,62	2190	10	0,001	0,09	Z
8	1	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
8	1	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
8	1	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z

Kaart - blad	1/8	1/4	M_z m	DF	k m/j	d_a m	i m/m	θ_w cm^3/cm^3	Textuur
8	1	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
8	2	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,12	S
8	2	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,12	S
8	2	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,12	S
8	2	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,12	S
8	3	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
8	3	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
8	3	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
8	4	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
8	4	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
8	4	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
8	5	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
8	5	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
8	5	3	10	1,83	1095	10	0,001	0,09	Z
8	5	4	10	1,83	1095	10	0,001	0,09	Z
8	6	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,12	S
8	6	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,12	S
8	6	3	10	1,83	1095	10	0,001	0,12	S
8	6	4	10	1,83	1095	10	0,001	0,12	S
8	7	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
8	7	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
8	7	3	10	1,83	1095	10	0,001	0,09	Z
8	7	4	10	1,83	1095	10	0,001	0,09	Z
8	8	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
8	8	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
8	8	3	10	1,83	1095	10	0,001	0,09	Z
8	8	4	10	1,83	1095	10	0,001	0,09	Z
9	1	1	2	1,28	1825	2	0,001	0,09	Z
9	1	2	2	1,28	1825	2	0,001	0,09	Z
9	1	3	2	1,28	1825	2	0,001	0,09	Z
9	1	4	2	1,28	1825	2	0,001	0,09	Z
9	5	1	2	1,28	1825	2	0,001	0,09	Z
9	5	2	2	1,28	1825	2	0,001	0,09	Z
9	5	3	10	2,38	1825	10	0,001	0,09	Z
9	5	4	10	2,38	1825	10	0,001	0,09	Z
9	6	1	10	2,38	1825	10	0,001	0,09	Z
9	6	3	10	2,38	1825	10	0,001	0,09	Z
9	6	4	10	2,38	1825	10	0,001	0,09	Z
10	5	3	9,44	3,08	2920	25	0,001	0,09	Z
10	5	4	9,44	3,08	2920	25	0,001	0,09	Z
11	7	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
11	8	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
11	8	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
11	8	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
12	1	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
12	2	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
12	2	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
12	2	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
12	3	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
12	3	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
12	3	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
12	3	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
12	4	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
12	4	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
12	4	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
12	4	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
12	5	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
12	5	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
12	5	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"

Kaart - blad	1/8	1/4	M_z m	DF	k m/j	d_a m	i m/m	θ_w cm^3/cm^3	Textuur
12	5	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
12	6	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
12	6	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
12	6	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
12	6	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
12	7	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	Z
12	7	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	Z
12	7	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	Z
12	7	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	Z
12	8	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	Z
12	8	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	Z
12	8	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	Z
12	8	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	Z
13	1	1	10	2,1	1460	10	0,001	0,2	"P"
13	1	2	10	2,1	1460	10	0,001	0,2	"P"
13	1	3	10	2,1	1460	10	0,001	0,2	"P"
13	1	4	10	2,1	1460	10	0,001	0,2	"P"
13	2	1	10	2,1	1460	10	0,001	0,09	Z
13	2	2	10	2,1	1460	10	0,001	0,09	Z
13	2	3	10	2,1	1460	10	0,001	0,09	Z
13	2	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	Z
13	3	1	10	2,1	1460	10	0,001	0,09	Z
13	3	2	10	2,1	1460	10	0,001	0,09	Z
13	3	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	Z
13	3	4	10	2,1	1460	10	0,001	0,09	Z
13	4	1	10	2,1	1460	10	0,001	0,09	Z
13	4	2	10	2,1	1460	10	0,001	0,09	Z
13	4	3	10	2,1	1460	10	0,001	0,09	Z
13	4	4	10	2,1	1460	10	0,001	0,09	Z
13	5	1	10	2,1	1460	10	0,001	0,12	S
13	5	2	10	2,1	1460	10	0,001	0,12	S
13	5	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,12	S
13	5	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,12	S
13	6	1	10	2,1	1460	10	0,001	0,12	S
13	6	2	10	2,1	1460	10	0,001	0,12	S
13	6	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,12	S
13	6	4	10	2,1	1460	10	0,001	0,12	S
13	7	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,12	S
13	7	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,12	S
13	7	3	10	2,1	1460	10	0,001	0,12	S
13	7	4	10	2,1	1460	10	0,001	0,12	S
13	8	1	10	2,1	1460	10	0,001	0,12	S
13	8	2	10	2,1	1460	10	0,001	0,12	S
13	8	3	10	2,1	1460	10	0,001	0,12	S
13	8	4	10	2,1	1460	10	0,001	0,12	S
14	1	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	Z
14	1	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	Z
14	1	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	Z
14	1	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	Z
14	2	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	Z
14	2	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	Z
14	2	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	Z
14	3	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	Z
14	3	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	Z
14	4	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	Z
14	4	3	10	2,1	1460	10	0,001	0,09	Z
14	4	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	Z
14	5	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	Z
14	5	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	Z

Kaart - blad	1/8	1/4	M_z m	DF	k m/j	d_a m	i m/m	θ_w cm^3/cm^3	Textuur
14	5	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	Z
14	5	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	Z
14	6	1	10	2,1	1460	10	0,001	0,09	Z
14	6	2	10	2,1	1460	10	0,001	0,09	Z
14	6	3	10	2,1	1460	10	0,001	0,09	Z
14	6	4	10	2,1	1460	10	0,001	0,09	Z
14	7	1	10	2,1	1460	10	0,001	0,09	Z
14	7	2	10	2,1	1460	10	0,001	0,09	Z
14	7	3	10	2,1	1460	10	0,001	0,09	Z
14	7	4	10	2,1	1460	10	0,001	0,09	Z
14	8	1	10	2,1	1460	10	0,001	0,09	Z
14	8	2	10	2,1	1460	10	0,001	0,09	Z
14	8	3	10	2,1	1460	10	0,001	0,09	Z
14	8	4	10	2,1	1460	10	0,001	0,09	Z
15	1	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,12	S
15	1	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,12	S
15	1	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,12	S
15	1	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,12	S
15	2	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,2	P
15	2	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,2	P
15	2	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,2	P
15	2	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,2	P
15	3	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,2	"P"
15	3	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,2	"P"
15	3	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,2	"P"
15	3	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,2	"P"
15	4	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,2	"P"
15	4	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,2	"P"
15	4	3	10	1,83	1095	10	0,001	0,2	"P"
15	4	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,2	"P"
15	5	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
15	5	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
15	5	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
15	5	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
15	6	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
15	6	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
15	6	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
15	6	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
15	7	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,2	"P"
15	7	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,2	"P"
15	7	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,2	"P"
15	7	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,2	"P"
15	8	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
15	8	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
15	8	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
15	8	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
16	1	1	2	1,44	2920	2	0,001	0,09	Z
16	1	2	2	1,44	2920	2	0,001	0,09	Z
16	1	3	2	1,44	2920	2	0,001	0,09	Z
16	1	4	2	1,44	2920	2	0,001	0,09	Z
16	2	1	2	1,44	2920	2	0,001	0,09	Z
16	2	2	2	1,44	2920	2	0,001	0,09	Z
16	2	3	2	1,44	2920	2	0,001	0,09	Z
16	2	4	2	1,44	2920	2	0,001	0,09	Z
16	3	1	2	1,44	2920	2	0,001	0,09	Z
16	3	2	2	1,44	2920	2	0,001	0,09	Z
16	3	3	2	1,44	2920	2	0,001	0,09	Z
16	3	4	2	1,44	2920	2	0,001	0,09	Z

Kaart - blad	1/8	1/4	M_z m	DF	k m/j	d_a m	i m/m	θ_w cm^3/cm^3	Textuur
16	4	1	2	1,44	2920	2	0,001	0,09	Z
16	4	2	2	1,44	2920	2	0,001	0,09	Z
16	4	3	2	1,44	2920	2	0,001	0,09	Z
16	4	4	2	1,44	2920	2	0,001	0,09	Z
16	5	1	2	1,44	2920	2	0,001	0,2	P
16	5	2	2	1,44	2920	2	0,001	0,2	P
16	5	3	2	1,44	2920	2	0,001	0,2	P
16	5	4	2	1,44	2920	2	0,001	0,2	P
16	6	1	8,94	2,97	2920	10	0,001	0,12	S
16	6	2	8,94	2,97	2920	10	0,001	0,12	S
16	6	3	2	1,44	2920	2	0,001	0,12	S
16	6	4	8,94	2,97	2920	10	0,001	0,12	S
16	7	1	9,44	3,08	2920	25	0,001	0,12	S
16	7	2	2	1,44	2920	2	0,001	0,12	S
16	7	3	9,44	3,08	2920	25	0,001	0,12	S
16	7	4	9,44	3,08	2920	25	0,001	0,12	S
16	8	1	2	1,44	2920	2	0,001	0,12	S
16	8	2	2	1,44	2920	2	0,001	0,12	S
16	8	3	9,63	3,12	2920	50	0,001	0,12	S
16	8	4	2	1,44	2920	2	0,001	0,12	S
17	1	1	2	1,5	3285	2	0,001	0,09	Z
17	1	2	2	1,5	3285	2	0,001	0,09	Z
17	1	3	2	1,5	3285	2	0,001	0,09	Z
17	1	4	2	1,5	3285	2	0,001	0,09	Z
17	2	1	2	1,5	3285	2	0,001	0,09	Z
17	2	2	2	1,5	3285	2	0,001	0,09	Z
17	2	3	2	1,5	3285	2	0,001	0,09	Z
17	2	4	2	1,5	3285	2	0,001	0,09	Z
17	3	1	9,02	3,24	3285	25	0,001	0,09	Z
17	3	2	9,02	3,24	3285	25	0,001	0,09	Z
17	3	3	9,02	3,24	3285	25	0,001	0,09	Z
17	3	4	9,02	3,24	3285	25	0,001	0,09	Z
17	4	1	9,02	3,24	3285	25	0,001	0,09	Z
17	4	2	9,02	3,24	3285	25	0,001	0,09	Z
17	4	3	9,17	3,27	3285	50	0,001	0,09	Z
17	4	4	9,02	3,24	3285	25	0,001	0,09	Z
17	5	1	9,02	3,24	3285	25	0,001	0,09	Z
17	5	2	9,17	3,27	3285	50	0,001	0,09	Z
17	5	3	9,17	3,27	3285	50	0,001	0,09	Z
17	5	4	9,02	3,24	3285	25	0,001	0,09	Z
17	6	1	9,02	3,24	3285	25	0,001	0,09	Z
17	6	2	9,17	3,27	3285	50	0,001	0,09	Z
17	6	3	9,17	3,27	3285	50	0,001	0,09	Z
17	6	4	9,17	3,27	3285	50	0,001	0,09	Z
17	7	1	2	1,5	3285	2	0,001	0,09	Z
17	7	2	2	1,5	3285	2	0,001	0,09	Z
17	7	3	9,17	3,27	3285	50	0,001	0,09	Z
17	7	4	9,17	3,27	3285	50	0,001	0,09	Z
17	8	1	8,61	3,13	3285	10	0,001	0,09	Z
17	8	2	8,61	3,13	3285	10	0,001	0,09	Z
17	8	3	9,17	3,27	3285	50	0,001	0,09	Z
17	8	4	9,17	3,27	3285	50	0,001	0,09	Z
18	1	1	6,01	9,27	3650	25	0,005	0,12	S
18	1	2	6,01	9,27	3650	25	0,005	0,12	S
18	1	3	6,01	9,28	3650	50	0,005	0,12	S
18	1	4	6,01	9,27	3650	25	0,005	0,12	S
18	2	3	6,01	9,27	3650	25	0,005	0,12	S
18	2	4	6,01	9,27	3650	25	0,005	0,12	S
18	5	1	6,01	9,28	3650	50	0,005	0,12	S

Kaart - blad	1/8	1/4	M_z m	DF	k m/j	d_a m	i m/m	θ_w cm^3/cm^3	Textuur
18	5	2	6,01	9,28	3650	50	0,005	0,12	S
18	5	3	6,01	9,28	3650	50	0,005	0,12	S
18	5	4	6,01	9,28	3650	50	0,005	0,12	S
18	6	1	6,01	9,27	3650	25	0,005	0,12	S
18	6	2	6,01	9,27	3650	25	0,005	0,12	S
18	6	3	5,99	9,25	3650	10	0,005	0,12	S
18	6	4	6,01	9,27	3650	25	0,005	0,12	S
18	7	1	6,01	9,27	3650	25	0,005	0,12	S
18	7	2	6,01	9,27	3650	25	0,005	0,12	S
18	7	3	6,01	9,27	3650	25	0,005	0,12	S
18	7	4	6,01	9,27	3650	25	0,005	0,12	S
18	8	1	6,01	9,27	3650	25	0,005	0,22	L
18	8	3	6,01	9,27	3650	25	0,005	0,22	L
19	3	2	2	1,11	730	2	0,001	0,2	"P"
19	3	4	2	1,11	730	2	0,001	0,2	"P"
19	4	1	2	1,11	730	2	0,001	0,2	"P"
19	4	2	2	1,11	730	2	0,001	0,2	"P"
19	4	3	2	1,11	730	2	0,001	0,2	"P"
19	4	4	2	1,11	730	2	0,001	0,2	"P"
19	8	1	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
19	8	2	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
19	8	3	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
19	8	4	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
20	1	1	2	1,11	730	2	0,001	0,2	"P"
20	1	2	2	1,11	730	2	0,001	0,2	"P"
20	1	3	2	1,11	730	2	0,001	0,2	"P"
20	1	4	2	1,11	730	2	0,001	0,2	"P"
20	2	1	2	1,11	730	2	0,001	0,2	"P"
20	2	2	2	1,11	730	2	0,001	0,2	"P"
20	2	3	2	1,11	730	2	0,001	0,2	"P"
20	2	4	2	1,11	730	2	0,001	0,2	"P"
20	3	1	2	1,11	730	2	0,001	0,12	S
20	3	2	2	1,11	730	2	0,001	0,12	S
20	3	3	2	1,11	730	2	0,001	0,12	S
20	3	4	2	1,11	730	2	0,001	0,12	S
20	4	1	2	1,11	730	2	0,001	0,12	S
20	4	2	2	1,11	730	2	0,001	0,12	S
20	4	3	2	1,11	730	2	0,001	0,12	S
20	4	4	2	1,11	730	2	0,001	0,12	S
20	5	1	2	1,11	730	2	0,001	0,2	"P"
20	5	2	2	1,11	730	2	0,001	0,2	"P"
20	5	3	2	1,11	730	2	0,001	0,2	"P"
20	5	4	2	1,11	730	2	0,001	0,2	"P"
20	6	1	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
20	6	2	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
20	6	3	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
20	6	4	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
20	7	1	2	1,11	730	2	0,001	0,2	P
20	7	2	2	1,11	730	2	0,001	0,2	P
20	7	3	2	1,11	730	2	0,001	0,2	P
20	7	4	2	1,11	730	2	0,001	0,2	P
20	8	1	2	1,11	730	2	0,001	0,2	P
20	8	2	2	1,11	730	2	0,001	0,2	P
20	8	3	2	1,11	730	2	0,001	0,2	P
20	8	4	2	1,11	730	2	0,001	0,2	P
21	1	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,12	S
21	1	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,12	S
21	1	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,12	S
21	1	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,12	S

Kaart - blad	1/8	1/4	M_z m	DF	k m/j	d_a m	i m/m	θ_w cm^3/cm^3	Textuur
21	2	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
21	2	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
21	2	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
21	2	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
21	3	1	10	1,83	1095	10	0,001	0,22	L
21	3	2	10	1,83	1095	10	0,001	0,22	L
21	3	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
21	3	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
21	4	1	10	1,83	1095	10	0,001	0,22	L
21	4	2	10	1,83	1095	10	0,001	0,22	L
21	4	3	10	1,83	1095	10	0,001	0,22	L
21	4	4	10	1,83	1095	10	0,001	0,22	L
21	5	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,2	P
21	5	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,2	P
21	5	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,2	P
21	5	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,2	P
21	6	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,2	P
21	6	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,2	P
21	6	3	10	1,83	1095	10	0,001	0,2	P
21	6	4	10	1,83	1095	10	0,001	0,2	P
21	7	1	10	1,83	1095	10	0,001	0,22	L
21	7	2	10	1,83	1095	10	0,001	0,22	L
21	7	3	10	1,83	1095	10	0,001	0,22	L
21	7	4	10	1,83	1095	10	0,001	0,22	L
21	8	1	10	1,83	1095	10	0,001	0,09	Z
21	8	2	10	1,83	1095	10	0,001	0,09	Z
21	8	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,09	Z
21	8	4	10	1,83	1095	10	0,001	0,09	Z
22	1	1	10	1,83	1095	10	0,001	0,2	"P"
22	1	2	10	1,83	1095	10	0,001	0,2	"P"
22	1	3	10	1,83	1095	10	0,001	0,2	"P"
22	1	4	10	1,83	1095	10	0,001	0,2	"P"
22	2	1	10	1,83	1095	10	0,001	0,09	Z
22	2	2	10	1,83	1095	10	0,001	0,09	Z
22	2	3	10	1,83	1095	10	0,001	0,09	Z
22	2	4	10	1,83	1095	10	0,001	0,09	Z
22	3	1	10	1,83	1095	10	0,001	0,09	Z
22	3	2	10	1,83	1095	10	0,001	0,09	Z
22	3	3	10	1,83	1095	10	0,001	0,09	Z
22	3	4	10	1,83	1095	10	0,001	0,09	Z
22	4	1	10	1,83	1095	10	0,001	0,09	Z
22	4	2	10	1,83	1095	10	0,001	0,09	Z
22	4	3	10	1,83	1095	10	0,001	0,09	Z
22	4	4	10	1,83	1095	10	0,001	0,09	Z
22	5	1	10	1,83	1095	10	0,001	0,09	Z
22	5	2	10	1,83	1095	10	0,001	0,09	Z
22	5	3	10	1,83	1095	10	0,001	0,09	Z
22	5	4	10	1,83	1095	10	0,001	0,09	Z
22	6	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
22	6	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
22	6	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
22	6	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
22	7	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
22	7	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
22	7	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
22	7	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
22	8	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
22	8	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
22	8	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L

Kaart - blad	1/8	1/4	M_z m	DF	k m/j	d_a m	i m/m	θ_w cm^3/cm^3	Textuur
22	8	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
23	1	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
23	1	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
23	1	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
23	1	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
23	2	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	P
23	2	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	P
23	2	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	P
23	2	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	P
23	3	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	P
23	3	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	P
23	3	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	P
23	3	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	P
23	4	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
23	4	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
23	4	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
23	4	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,2	"P"
23	5	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,22	L
23	5	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,22	L
23	5	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,22	L
23	5	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,22	L
23	6	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,22	L
23	6	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,22	L
23	6	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,22	L
23	6	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,22	L
23	7	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,22	L
23	7	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,22	L
23	7	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,22	L
23	7	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,22	L
23	8	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,22	L
23	8	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,22	L
23	8	3	10	2,1	1460	10	0,001	0,22	L
23	8	4	10	2,1	1460	10	0,001	0,22	L
24	1	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,12	S
24	1	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,12	S
24	1	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,12	S
24	1	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,12	S
24	2	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,12	S
24	2	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,12	S
24	2	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,12	S
24	2	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,12	S
24	3	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,12	S
24	3	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,12	S
24	3	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,12	S
24	3	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,12	S
24	4	1	14,88	2,23	1095	25	0,001	0,09	Z
24	4	2	14,88	2,23	1095	25	0,001	0,09	Z
24	4	3	14,88	2,23	1095	25	0,001	0,09	Z
24	4	4	16,04	2,33	1095	50	0,001	0,09	Z
24	5	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
24	5	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
24	5	3	10	1,83	1095	10	0,001	0,22	L
24	5	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
24	6	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
24	6	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
24	6	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
24	6	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
24	7	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
24	7	2	14,88	2,23	1095	25	0,001	0,22	L

Kaart - blad	1/8	1/4	M_z m	DF	k m/j	d_a m	i m/m	θ_w cm^3/cm^3	Textuur
24	7	3	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
24	7	4	2	1,17	1095	2	0,001	0,22	L
24	8	1	14,88	2,23	1095	25	0,001	0,22	L
24	8	2	16,04	2,33	1095	50	0,001	0,22	L
24	8	3	10	1,83	1095	10	0,001	0,22	L
24	8	4	10	1,83	1095	10	0,001	0,22	L
25	1	1	8,14	3,69	2190	25	0,002	0,12	S
25	1	2	8,14	3,69	2190	25	0,002	0,12	S
25	1	3	8,23	3,72	2190	50	0,002	0,12	S
25	1	4	8,23	3,72	2190	50	0,002	0,12	S
25	2	1	8,23	3,72	2190	50	0,002	0,12	S
25	2	2	7,9	3,61	2190	10	0,002	0,12	S
25	2	3	8,23	3,72	2190	50	0,002	0,12	S
25	2	4	8,23	3,72	2190	50	0,002	0,12	S
25	3	1	8,23	3,72	2190	50	0,002	0,09	Z
25	3	2	8,23	3,72	2190	50	0,002	0,09	Z
25	3	3	7,9	3,61	2190	10	0,002	0,09	Z
25	3	4	7,9	3,61	2190	10	0,002	0,09	Z
25	4	1	7,9	3,61	2190	10	0,002	0,09	Z
25	4	2	7,9	3,61	2190	10	0,002	0,09	Z
25	4	3	8,14	3,69	2190	25	0,002	0,09	Z
25	4	4	8,14	3,69	2190	25	0,002	0,09	Z
25	5	1	2	1,66	2190	2	0,002	0,22	L
25	5	2	2	1,66	2190	2	0,002	0,22	L
25	5	3	2	1,66	2190	2	0,002	0,22	L
25	5	4	2	1,66	2190	2	0,002	0,22	L
25	6	1	2	1,66	2190	2	0,002	0,22	L
25	6	2	2	1,66	2190	2	0,002	0,22	L
25	6	3	2	1,66	2190	2	0,002	0,22	L
25	6	4	2	1,66	2190	2	0,002	0,22	L
25	7	1	2	1,66	2190	2	0,002	0,09	Z
25	7	2	2	1,66	2190	2	0,002	0,09	Z
25	7	3	2	1,66	2190	2	0,002	0,09	Z
25	7	4	2	1,66	2190	2	0,002	0,09	Z
25	8	1	2	1,66	2190	2	0,002	0,09	Z
25	8	2	2	1,66	2190	2	0,002	0,09	Z
25	8	3	2	1,66	2190	2	0,002	0,09	Z
25	8	4	2	1,66	2190	2	0,002	0,09	Z
26	1	1	6,09	8,55	3285	50	0,005	0,09	Z
26	1	2	6,09	8,55	3285	50	0,005	0,09	Z
26	1	3	6,09	8,55	3285	50	0,005	0,09	Z
26	1	4	6,09	8,55	3285	50	0,005	0,09	Z
26	2	1	6,09	8,55	3285	50	0,005	0,09	Z
26	2	2	6,09	8,55	3285	50	0,005	0,09	Z
26	2	3	6,09	8,55	3285	50	0,005	0,09	Z
26	2	4	6,09	8,55	3285	50	0,005	0,09	Z
26	3	1	6,09	8,55	3285	50	0,005	0,22	L
26	3	2	6,09	8,54	3285	25	0,005	0,22	L
26	3	3	6,09	8,55	3285	50	0,005	0,22	L
26	3	4	6,09	8,55	3285	50	0,005	0,22	L
26	5	1	6,09	8,55	3285	50	0,005	0,09	Z
26	5	2	6,09	8,55	3285	50	0,005	0,09	Z
26	5	3	2	3,48	3285	2	0,005	0,09	Z
26	5	4	2	3,48	3285	2	0,005	0,09	Z
26	6	1	6,09	8,55	3285	50	0,005	0,09	Z
26	6	2	6,09	8,55	3285	50	0,005	0,09	Z
26	6	3	2	3,48	3285	2	0,005	0,09	Z
26	6	4	2	3,48	3285	2	0,005	0,09	Z
26	7	1	2	3,48	3285	2	0,005	0,22	L

Kaart - blad	1/8	1/4	M_z m	DF	k m/j	d_a m	i m/m	θ_w cm^3/cm^3	Textuur
26	7	3	2	3,48	3285	2	0,005	0,22	L
27	4	1	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
27	4	2	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
27	4	3	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
27	4	4	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
28	1	1	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
28	1	2	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
28	1	3	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
28	1	4	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
28	2	1	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
28	2	2	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
28	2	3	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
28	2	4	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
28	3	1	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
28	3	2	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
28	3	3	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
28	3	4	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
28	4	1	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
28	4	2	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
28	4	3	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
28	4	4	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
28	5	1	2	1,11	730	2	0,001	0,33	A
28	5	2	2	1,11	730	2	0,001	0,33	A
28	5	4	2	1,11	730	2	0,001	0,33	A
28	6	1	2	1,11	730	2	0,001	0,33	A
28	6	2	2	1,11	730	2	0,001	0,33	A
28	6	3	2	1,11	730	2	0,001	0,33	A
28	7	1	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
28	7	2	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
28	8	1	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
28	8	2	2	1,11	730	2	0,001	0,22	L
29	1	1	2	1,44	1460	2	0,002	0,2	P
29	1	2	2	1,44	1460	2	0,002	0,2	P
29	1	3	8,94	2,97	1460	10	0,002	0,2	P
29	1	4	2	1,44	1460	2	0,002	0,2	P
29	2	1	8,94	2,97	1460	10	0,002	0,2	P
29	2	2	2	1,44	1460	2	0,002	0,2	P
29	2	3	2	1,44	1460	2	0,002	0,2	P
29	2	4	2	1,44	1460	2	0,002	0,2	P
29	3	1	2	1,44	1460	2	0,002	0,12	S
29	3	2	2	1,44	1460	2	0,002	0,12	S
29	3	3	2	1,44	1460	2	0,002	0,12	S
29	3	4	2	1,44	1460	2	0,002	0,12	S
29	4	1	2	1,44	1460	2	0,002	0,22	L
29	4	2	2	1,44	1460	2	0,002	0,22	L
29	4	3	2	1,44	1460	2	0,002	0,22	L
29	4	4	2	1,44	1460	2	0,002	0,22	L
29	5	1	2	1,44	1460	2	0,002	0,22	L
29	5	2	2	1,44	1460	2	0,002	0,22	L
29	5	3	2	1,44	1460	2	0,002	0,22	L
29	5	4	2	1,44	1460	2	0,002	0,22	L
29	6	1	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
29	6	2	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
29	6	3	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
29	6	4	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
29	7	1	2	1,44	1460	2	0,002	0,22	L
29	7	2	2	1,44	1460	2	0,002	0,22	L
29	7	3	2	1,44	1460	2	0,002	0,22	L
29	7	4	2	1,44	1460	2	0,002	0,22	L

Kaart - blad	1/8	1/4	M_z m	DF	k m/j	d_a m	i m/m	θ_w cm^3/cm^3	Textuur
29	8	1	2	1,44	1460	2	0,002	0,22	L
29	8	2	2	1,44	1460	2	0,002	0,22	L
29	8	3	2	1,44	1460	2	0,002	0,22	L
29	8	4	2	1,44	1460	2	0,002	0,22	L
30	1	1	2	1,44	1460	2	0,002	0,22	L
30	1	2	2	1,44	1460	2	0,002	0,22	L
30	1	3	2	1,44	1460	2	0,002	0,22	L
30	1	4	2	1,44	1460	2	0,002	0,22	L
30	2	1	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	2	2	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	2	3	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	2	4	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	3	1	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	3	2	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	3	3	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	3	4	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	4	1	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	4	2	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	4	3	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	4	4	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	5	1	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	5	2	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	5	3	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	5	4	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	6	1	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	6	2	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	6	3	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	6	4	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	7	1	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	7	2	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	7	3	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	7	4	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	8	1	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	8	2	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	8	3	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
30	8	4	2	1,44	1460	2	0,002	0,33	A
31	1	1	2	1,55	1825	2	0,002	0,33	A
31	1	2	2	1,55	1825	2	0,002	0,33	A
31	1	3	2	1,55	1825	2	0,002	0,33	A
31	1	4	2	1,55	1825	2	0,002	0,33	A
31	2	1	2	1,55	1825	2	0,002	0,33	A
31	2	2	2	1,55	1825	2	0,002	0,33	A
31	2	3	2	1,55	1825	2	0,002	0,33	A
31	2	4	2	1,55	1825	2	0,002	0,33	A
31	4	1	2	1,55	1825	2	0,002	0,33	A
31	4	2	2	1,55	1825	2	0,002	0,33	A
31	4	3	8,34	3,3	1825	10	0,002	0,33	A
31	4	4	8,34	3,3	1825	10	0,002	0,33	A
31	5	1	2	1,55	1825	2	0,002	0,33	A
31	5	2	2	1,55	1825	2	0,002	0,33	A
31	5	3	2	1,55	1825	2	0,002	0,33	A
31	5	4	2	1,55	1825	2	0,002	0,33	A
31	6	1	2	1,55	1825	2	0,002	0,33	A
31	6	2	2	1,55	1825	2	0,002	0,33	A
31	6	3	2	1,55	1825	2	0,002	0,33	A
31	6	4	2	1,55	1825	2	0,002	0,33	A
31	7	3	2	1,55	1825	2	0,002	0,2	"P"
31	7	4	8,34	3,3	1825	10	0,002	0,2	"P"
31	8	1	8,34	3,3	1825	10	0,002	0,33	A

Kaart - blad	1/8	1/4	M_z m	DF	k m/j	d_a m	i m/m	θ_w cm^3/cm^3	Textuur
31	8	2	8,34	3,3	1825	10	0,002	0,33	A
31	8	3	8,34	3,3	1825	10	0,002	0,33	A
31	8	4	8,34	3,3	1825	10	0,002	0,33	A
32	1	1	10	2,38	1825	10	0,001	0,33	A
32	1	2	10	2,38	1825	10	0,001	0,33	A
32	1	3	10	2,38	1825	10	0,001	0,33	A
32	1	4	10	2,38	1825	10	0,001	0,33	A
32	2	1	2	1,28	1825	2	0,001	0,22	L
32	2	2	2	1,28	1825	2	0,001	0,22	L
32	2	3	2	1,28	1825	2	0,001	0,22	L
32	2	4	2	1,28	1825	2	0,001	0,22	L
32	3	1	10	2,38	1825	10	0,001	0,22	L
32	3	2	10	2,38	1825	10	0,001	0,22	L
32	3	3	2	1,28	1825	2	0,001	0,22	L
32	3	4	2	1,28	1825	2	0,001	0,22	L
32	4	1	2	1,28	1825	2	0,001	0,22	L
32	4	2	2	1,28	1825	2	0,001	0,22	L
32	4	3	2	1,28	1825	2	0,001	0,22	L
32	4	4	2	1,28	1825	2	0,001	0,22	L
32	5	1	10	2,38	1825	10	0,001	0,33	A
32	5	2	2	1,28	1825	2	0,001	0,33	A
32	5	3	2	1,28	1825	2	0,001	0,33	A
32	5	4	2	1,28	1825	2	0,001	0,33	A
32	6	1	10	2,38	1825	10	0,001	0,33	A
32	6	2	10	2,38	1825	10	0,001	0,33	A
32	7	1	2	1,28	1825	2	0,001	0,33	A
32	7	2	2	1,28	1825	2	0,001	0,33	A
32	7	4	2	1,28	1825	2	0,001	0,33	A
32	8	1	10	2,38	1825	10	0,001	0,33	A
32	8	2	10	2,38	1825	10	0,001	0,33	A
32	8	3	10	2,38	1825	10	0,001	0,33	A
32	8	4	2	1,28	1825	2	0,001	0,33	A
33	1	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,22	L
33	1	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,22	L
33	1	3	10	2,1	1460	10	0,001	0,22	L
33	1	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,22	L
33	2	1	10	2,1	1460	10	0,001	0,22	L
33	2	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,22	L
33	2	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,22	L
33	2	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,22	L
33	3	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,22	L
33	3	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,22	L
33	3	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,22	L
33	3	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,22	L
33	4	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
33	4	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
33	4	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
33	4	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
33	5	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
33	5	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
33	5	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
33	5	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
33	6	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
33	6	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
33	6	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
33	6	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
33	7	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
33	7	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
33	7	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A

Kaart - blad	1/8	1/4	M_z m	DF	k m/j	d_a m	i m/m	θ_w cm^3/cm^3	Textuur
33	7	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
33	8	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
33	8	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
33	8	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
33	8	4	10	2,1	1460	10	0,001	0,33	A
34	1	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
34	1	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
34	1	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
34	1	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
34	2	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
34	2	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
34	2	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
34	2	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
34	5	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
34	5	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
34	5	3	10	2,1	1460	10	0,001	0,33	A
34	5	4	10	2,1	1460	10	0,001	0,33	A
34	7	2	10	2,1	1460	10	0,001	0,33	A
34	7	3	10	2,1	1460	10	0,001	0,33	A
34	7	4	10	2,1	1460	10	0,001	0,33	A
34	8	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	G
34	8	4	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	G
35	5	3	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	G
36	1	2	2	1,11	730	2	0,001	0,39	E
36	2	1	2	1,11	730	2	0,001	0,39	E
37	2	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,33	A
37	2	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,33	A
38	3	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,33	A
38	4	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,33	A
38	4	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,33	A
39	1	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,33	A
39	1	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,33	A
39	2	1	2	1,17	1095	2	0,001	0,33	A
39	2	2	2	1,17	1095	2	0,001	0,33	A
41	1	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
41	2	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
41	2	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
41	3	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
41	3	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
41	4	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,33	A
42	4	1	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	G
42	4	2	2	1,22	1460	2	0,001	0,09	G

Lijst met afkortingen

EC	equivalent koolstofgetal	
NAPL	non-aqueous-phase liquid	
DF	dilutiefactor	
TPH	Total Petroleum Hydrocarbon blok	
TPHCWG	Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group	
A	oppervlakte van de bron	(m ²)
C_a	concentratie in de bodemlucht	(mg/l)
C_b	totaalconcentratie	(mg/kg ds)
C_{gw}	concentratie in het grondwater	(mg/l)
$C_{gw,c}$	kritische concentratie in het grondwater	(mg/l)
C_{NAPL}^i	concentratie van component i in de NAPL fase	(mg/l)
C_s	concentratie op de vaste fase	(mg/kg ds)
C_w	concentratie in de waterfase	(mg/l)
d_a	dikte van de freatische laag	(m)
d_f	dikte van de verontreinigde laag	(m)
D	longitudinale dispersiecoëfficiënt	(m ² /j)
D_a	diffusiecoëfficiënt in lucht	(m ² /j)
D_{eff}	effectieve diffusiecoëfficiënt	(m ² /j)
f_{oc}	fractie organische koolstof in de bodem	(g/g)
H	dimensieloze Henry-coëfficiënt	(-)
i	potentiaalgradiënt	(m/m)
j_w	waterflux	(m/j)
k	hydraulische geleidbaarheid van de freatische laag	(m/j)
K_d	bodem-water verdelingscoëfficiënt	(l/kg)
K_H	Henry-coëfficiënt	(Pa.m ³ /mol)
K_{oc}	octanol-water verdelingscoëfficiënt	(l/kg)
L	lengte van de bronzone in de richting van de grondwaterstroming	(m)
L_d	diffusielengte (= afstand van het midden van de verontreinigde laag tot het oppervlak)	(m)
M_T^t	totale massa in het volume van de bron op tijdstip t	(mg)
MW_i	molecuulgewicht van oliecomponent i	(g/mol)
MW_{NAPL}	molecuulgewicht van de NAPL-fase	(g/mol)
M_z	mengdiepte	(m)
q	infiltratie in de onverzadigde zone	(m/j)
R_g	universele gasconstante	(Pa.m ³ /mol.K)
S	wateroplosbaarheid	(mg/l)
S_r^{NAPL}	residuele NAPL-verzadiging	(%)
Δt	tijdstap	(j)
$t_{1/2}$	halfwaardetijd	(j)
T	absolute bodemtemperatuur	(K)
x_i	molfractie van component i in de NAPL-fase	(mol/mol)
μ_a	eerste-orde afbraakconstante in de luchtfase	(1/j)
μ_s	eerste-orde afbraakconstante in de vaste fase	(1/j)

μ_w	eerste-orde afbraakconstante in de waterfase	(1/j)
θ_a	volumetrisch luchtgehalte	(cm ³ /cm ³)
θ_{NAPL}	volumefractie van de NAPL fase	(cm ³ /cm ³)
θ_w	volumetrisch vochtgehalte	(cm ³ /cm ³)
ρ_b	schijnbare droge dichtheid	(kg ds/l)
ρ_i	dichtheid van oliecomponent i	(mg/l)
ρ_{NAPL}	dichtheid van de NAPL-fase	(mg/l)