
SKB-project 6416
Nieuwe processen achterNA

Demonstratielocatie Veenendaal

14 maart 2008

Verantwoording

Titel	Nieuwe processen achterNA - Demonstratielocatie Veenendaal
Opdrachtgever	SKB
Projectleider	Frank Volkering
Auteur(s)	Frank Volkering
Uitvoering meet- en inspectiewerk	<<Execution of Measuring and Inspection Work>>
Projectnummer	4426268
Aantal pagina's	19 (exclusief bijlagen)
Datum	14 maart 2008
Handtekening	

Colofon

Tauw bv
afdeling Bedrijven Bodem
Handelskade 11
Postbus 133
7400 AC Deventer
Telefoon (0570) 69 99 11
Fax (0570) 69 96 66

Dit document is eigendom van de opdrachtgever en mag door hem worden gebruikt voor het doel waarvoor het is vervaardigd met inachtneming van de rechten die voortvloeien uit de wetgeving op het gebied van het intellectuele eigendom. De auteursrechten van dit document blijven berusten bij Tauw. Kwaliteit en verbetering van product en proces hebben bij Tauw hoge prioriteit. Tauw hanteert daartoe een managementsysteem dat is gecertificeerd dan wel geaccrediteerd volgens:

- NEN-EN-ISO 9001
- VCA**-certificering voor veilig werken bij meet- en inspectieactiviteiten en bodemsaneringen, ook in risicogebieden railinfra
- Er zijn analyses uitgevoerd door het NEN-EN-ISO 17025 geaccrediteerde milieulaboratorium van AL-West

Inhoud

Verantwoording en colofon	3
1 Inleiding.....	5
1.1 Achtergrond SKB-project.....	5
1.2 Conceptueel model locatie Veenendaal.....	6
2 Werkzaamheden	9
3 Resultaten en discussie	11
3.1 Condities voor afbraak	11
3.2 CKW en afbraakproducten	11
3.3 Isotopen analyses	13
3.3.1 Achtergrond.....	13
3.3.2 Isotopen gegevens Veenendaal.....	14
4 Conclusies	18
4.1 Locatiespecifieke conclusies	18
4.2 Generieke conclusies	19

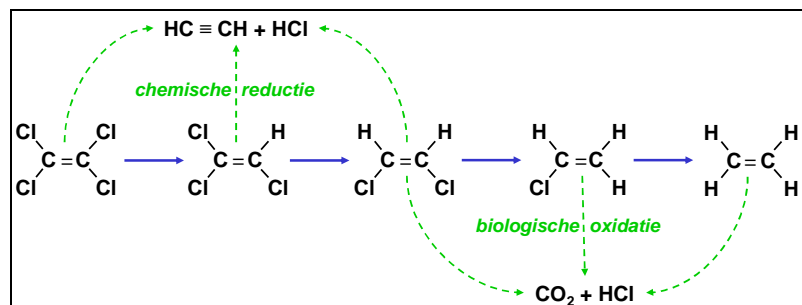
1 Inleiding

In het SKB-project Nieuwe processen achterNA is onderzoek gedaan naar het optreden van tot nu toe onbekende afbraakprocessen voor CKW. In het project zijn zes demonstratielocaties met verschillende karakteristieken onderzocht. Dit rapport beschrijft de resultaten van de demonstratielocatie Veenendaal.

1.1 Achtergrond SKB-project

Onderzoek naar de natuurlijke afbraak van CKW zoals Per en Tri is doorgaans gericht op het aantonen van biologische reductieve dechlorering. Uitgebreide praktijkervaring heeft geleerd dat in ongeveer de helft van de gevallen de reductieve afbraak van Per niet volledig verloopt en blijft steken bij *cis*-dichlooretheen (Cis) of vinylchloride (VC). Omdat deze afbraakproducten mobieler en toxischer zijn dan de uitgangsubstanties, lijkt NA geen toepasbare aanpak voor deze gevallen.

Uit betrouwbaar wetenschappelijk onderzoek is bekend dat er naast biologische reductieve dechlorering ook andere processen een rol kunnen spelen bij de natuurlijke anaërobe afbraak van CKW. Figuur 2 geeft een overzicht van deze "nieuwe" NA-processen.



Figuur 1.1: bekende (blauw) en nieuwe (groen, gestippeld) NA-processen voor Per en Tri

Het feit dat processen theoretisch kunnen optreden wil niet zeggen dat ze een significante rol spelen onder natuurlijke condities. Toch wordt er regelmatig gespeculeerd over het optreden van alternatieve NA-mechanismen, bv. wanneer blijkt dat een Cis-pluim kleiner is dan verwacht op basis van modellering.

In 2006 is het SKB-project "Nieuwe processen achterNA" van start gegaan waarin een toolbox wordt ontwikkeld om de nieuwe NA-processen aan te tonen. De belangrijkste methode die is onderzocht, is stabiele koolstofisotopen analyse, een nog relatief onbekende methode die echter sterk bewijs voor veel verschillende afbraakprocessen kan leveren. Daarnaast is het ontstaan van tussen- en eindproducten bij chemische reductie onderzocht. Vervolgens is de ontwikkelde toolbox toegepast op zes demonstratielocaties met als doel om de toolbox te testen én om het

belang van de nieuwe NA-processen te onderzoeken. Deze rapportage beschrijft de demonstratielocatie Veenendaal.

1.2 Conceptueel model locatie Veenendaal

De verontreiniging in Veenendaal betreft een Per-verontreiniging bij een metaalverwerkend bedrijf. In de bronzone heeft in 2004 en 2005 sanering via chemische oxidatie plaatsgevonden. Figuur 3.1 geeft een bovenaanzicht van de locatie.

De lokale bodemopbouw is als volgt te karakteriseren:

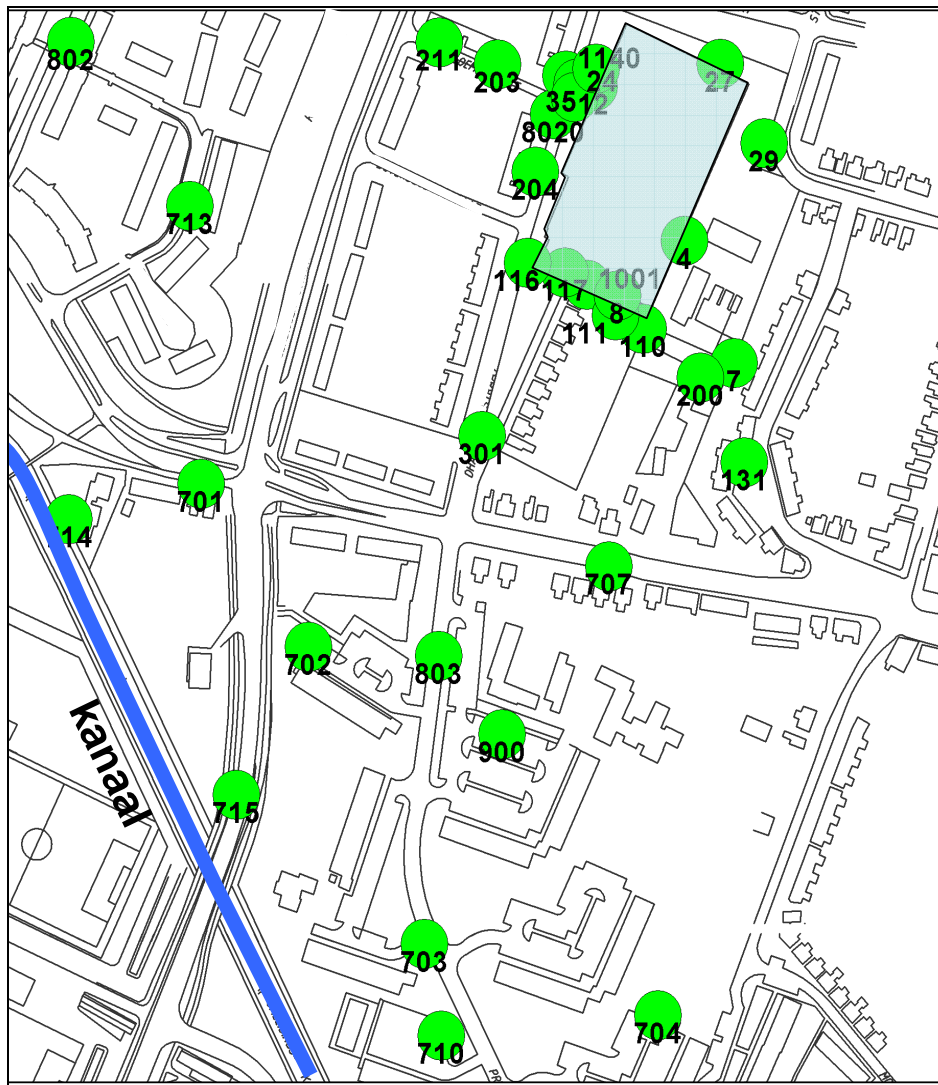
Diepte m –mv	Geohydrologische eenheid	Samenstelling
0,0 tot 1,0	1 ^e wvp	Fijn tot matig grof zand, zeer plaatselijk veen
1,0 tot 5,0	1 ^e wvp	Fijn tot matig grof zand, grindhoudend en lemig
5,0 tot 38	1 ^e wvp	Matig grof tot grof zand met kleilaagjes en plaatselijk veenlaagjes
38 tot 44	1 ^e scheidende laag	Matig grof tot grof zand met kleilagen

Het maaiveld bevindt zich op een hoogte van circa 10 m +NAP. De bovenstaande bodemopbouw is een schematisering. In werkelijkheid is de bodemopbouw ter plaatse van Veenendaal complex door afwisseling van matig tot slecht doorlatende laagjes en goed doorlatende lagen. Lokaal zijn op een diepte van 38 tot 44 m –mv kleilagen aangetoond. Aangenomen wordt dat deze een beperkte scheidende werking hebben.

De regionale grondwaterstroming is voor het eerste watervoerend pakket zuidelijk gericht; de grondwaterstroomsnelheid bedraagt circa 20 à 25 m/jaar. Lokaal speelt het drainerende effect van een nabijgelegen kanaal een belangrijke rol, waardoor het grondwater in het bovenste deel van het 1^e wvp meer in zuidwestelijke richting stroomt en uitkomt in het kanaal.

Het overwegend zandige karakter van de bodem komt ook tot uiting in de redoxcondities. Het DOC-gehalte van het grondwater is laag (circa 1 - 6 mg/l) en methaan is overwegend aanwezig in concentraties < 0,05 mg/l. Zuurstof wordt niet aangetroffen en nitraat is slechts in één ondiepe peilbuis aangetroffen. Op basis van de redoxparameters wordt geconcludeerd dat ijzerreductie het dominante redoxproces is.

In de periode medio 2004 tot medio 2005 heeft sanering van de bronzone door chemische oxidatie met Fenton's reagens en permanganaat plaatsgevonden. Deze sanering heeft in de bronzone geleid tot een concentratie-reductie van 90-95%.



Figuur 1.2 bovenaanzicht locatie met aanwezige meetpunten;

2 Werkzaamheden

In oktober 2006 heeft bemonstering van grondwater bij 21 meetpunten plaatsgevonden, waarbij tevens veldmeting van pH, EC en zuurstofgehalte is uitgevoerd.

De volgende chemische analyses zijn uitgevoerd door het AL West laboratorium in Deventer volgens standaard methoden:

- CKW inclusief vinyl chloride
- Afbraakproducten etheen en ethaan en methaan
- Screening op vluchtige stoffen, inclusief acetyleen

Bij het laboratorium van TNO Ruimte en Ondergrond in Utrecht is op 13 monsters die voldoende hoge CKW concentraties hadden, analyse van het ¹³C-gehalte van de aanwezige CKW uitgevoerd door meting met GC-C-IRMS.

De verontreinigingssituatie, de condities voor afbraak en de resultaten van de isotopen analyses zijn beoordeeld in een gezamenlijke bijeenkomst van de VU, TNO en Tauw. De resultaten zijn deels gemodelleerd aan de VU met behulp van een stoftransportmodel dat is ontwikkeld om afbraak van CKW en de bijbehorende isotopenfractionering te beschrijven.

3 Resultaten en discussie

3.1 Condities voor afbraak

Omdat de redoxcondities al voorafgaand aan dit onderzoek goed in beeld waren gebracht, is in dit onderzoek slechts beperkt aandacht besteed aan analyse van redoxparameters. Zuurstof is in het veld gemeten en methaan is onderdeel van het analysepakket voor CKW en afbraakproducten.

De uitgevoerde metingen bevestigen het bestaande beeld in zoverre dat er overwegend sprake is van matig anaërobe condities. Wel is bij een aantal individuele meetpunten (117(2,1-4,4) 703(9-10 en 19-20) en 707(9-10)) sprake van een duidelijk verhoogde concentratie aan methaan (> 1 mg/l). Deze hoge methaanconcentraties lijken min of meer willekeurig voor te komen in zowel de bron als de pluim, wat er op wijst dat er plaatselijk wel strikt anaërobe condities in het grondwater voorkomen.

3.2 CKW en afbraakproducten

De tabel 3.1 hieronder geeft een overzicht van de gemeten concentraties aan Per, Tri, Cis en VC, etheen en ethaan. Acetyleen is niet aangetroffen in het grondwater.

In de bronzone komt nog voornamelijk Per voor, in één peilbuis zelfs nog in zeer hoge concentratie. Er is bij de meeste meetpunten nauwelijks sprake van afbraakproducten. Hoogstwaarschijnlijk is dit veroorzaakt door sanering via in-situ chemische oxidatie, als gevolg waarvan in de bronzone (tijdelijk) minder anaërobe condities heersen. Op termijn zal de natuurlijke redoxtoestand van het grondwater zich herstellen.

In de pluim is Cis de dominante verontreiniging, ook in de meest stroomafwaartse meetpunten uit dit onderzoek. VC is in de meeste meetpunten in de pluim aangetroffen; over het algemeen zijn de concentraties hiervan echter duidelijk lager dan die van Cis. Bij zeven meetpunten is ook etheen en/of ethaan aangetroffen, wat duidt op het optreden van volledige dechlorering.

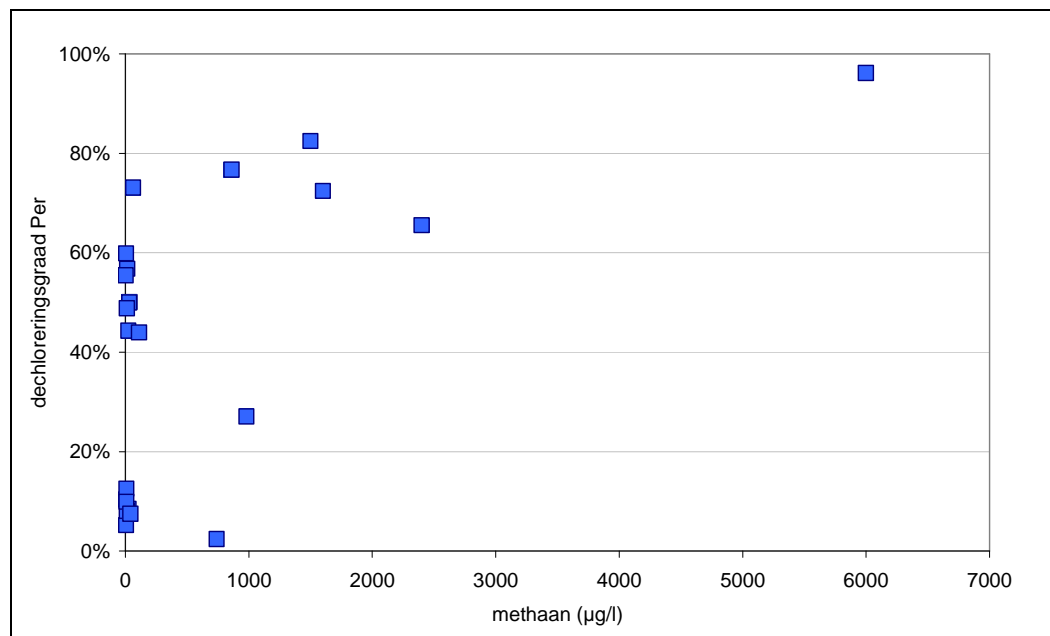
In de pluim treedt dus verdere afbraak op totdat er geen Per en Tri meer aanwezig is en Cis domineert. Lokaal is het grondwater sterker anaëroob, zoals blijkt uit de aanwezigheid van methaan, en op deze plaatsen treedt verdere afbraak van Cis tot VC, etheen en ethaan op. De goede correlatie tussen de aanwezigheid van methaan en het optreden van volledige dechlorering is te zien in figuur 3.1

Tabel 3.1 Concentraties aan CKW en afbraakproducten in grondwater

Meetpunt	afstand tot bron (m)	Per µg/l	Tri µg/l	Cis µg/l	VC µg/l	Etheen µg/l	Ethaan µg/l	Dechlorering %
Bron								
Pb 203 F(3.5-4.5)	n.v.t	1.000	420	90	0,89	<2	<2	12,5
Pb 204 F(2.2-3.9)	n.v.t	13.000	300	240	<15	<2	5,3	2,2
Pb 1140 F(2-4)	n.v.t.	190	10	12	1,8	<2	<2	7,5
Pb 8020 F(2-4)	n.v.t.	110	110	350	17	2,7	5	41,2
Lateraal								
Pb 713 F(9-10)	n.v.t.	690	83	16	1,6	<2	<2	5,2
Pb 713 F(19-20)	n.v.t.	8,6	1,9	0,4	<0,1	<2	<2	8,1
Pb 713 F(29-30)	n.v.t.	8,8	2,5	0,57	<0,1	<2	<2	9,9
Pluim								
Pb 116 F(2.4-4.1)	80	130	49	84	2,7	<2	<2	27,0
Pb 117 F(2.4-4.1)	80	0,4	2,1	57	15	2,5	4	56,5
Pb 1001 F(2.5-3.5)	80	<0,1	0,8	5,3	3,1	<2	<2	59,9
Pb 110 F(2-3.7)	90	7,1	2,5	0,4	<0,2	<2	<2	10,3
Pb 301 F(9-10)	175	<0,1	0,2	110	0,38	<2	<2	50,1
Pb 301 F(14-15)	175	4,2	0,6	<0,1	0,13	<2	<2	8,5
Pb 707 (9-10)	240	<0,6	<0,6	10	17	68	9,9	68,1
Pb 803 F(9-10)	290	<0,1	<0,1	31	0,24	<2	11	50,3
Pb 803 F(19-20)	290	<0,1	16	200	1,2	<2	<2	48,8
Pb 701 F(10-11)	340	<0,1	<0,1	9,7	<0,1	<2	<2	50,0
Pb 715 F(4-5)	400	<0,1	<0,1	9,9	78	<2	<2	73,1
Pb 715 F(9-10)	400	<0,1	0,2	0,5	<0,1	<2	<2	44,3
Pb 715 F(19-20)	400	<0,1	<0,1	0,5	0,12	<2	<2	56,8
Pb 703 F(9-10)	440	<0,1	0,1	16	3,7	<2	3,9	56,5
Pb 703 F(19-20)	440	<0,1	<0,1	160	39	28	70	82,5

Het algemene beeld dat uit de concentraties aan verontreinigen en afbraakproducten naar voren komt, komt dus goed overeen met hetgeen op basis van de redoxcondities (zie boven) kan worden verwacht. In het overwegend matig anaërobie grondwater treedt partiële afbraak van Per tot Cis op. Het aanwezige VC is waarschijnlijk het gevolg van cometabole afbraak in de bronzone. Bij dit proces wordt een kleine hoeveelheid VC gevormd door specifieke activiteit van het enzym dat Tri omzet naar Cis. Bij lagere CKW concentraties is dit effect niet meer meetbaar.

Deze lokale volledige omzetting draagt slechts in beperkte mate bij aan de totale natuurlijke afbraak in de pluim, waardoor Cis de dominante verontreiniging in de pluim vormt.



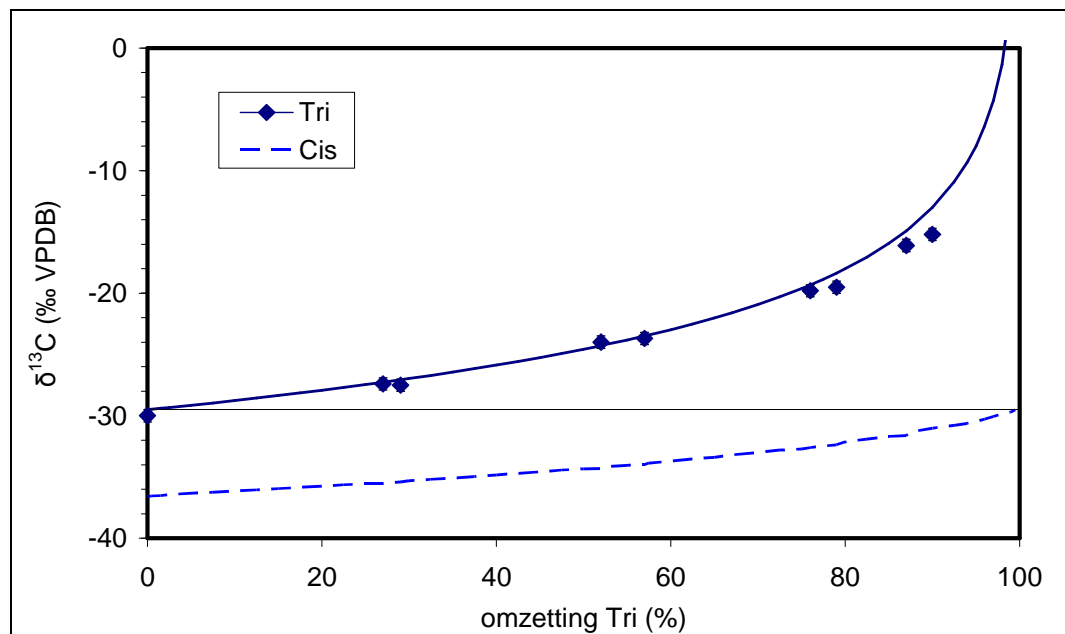
Figuur 3.1 dechloreringsgraad van Per als functie van de methaanconcentratie

3.3 Isotopen analyses

3.3.1 Achtergrond

Alle koolstof, dus ook de koolstof in CKW, bestaat van nature uit twee stabiele isotopen: ^{12}C (98,9%) en ^{13}C (1,1%). Bij afbraakprocessen worden CKW-moleculen die een ^{13}C -atoom bevatten iets langzamer omgezet dan CKW die alleen uit ^{12}C bestaan. Het gevolg is dat de resterende CKW meer ^{13}C zal bevatten naarmate er meer afbraak is opgetreden. Dit wordt isotopenfractionering genoemd. In Figuur 3.2 hieronder wordt een voorbeeld gegeven voor de biologische omzetting van Tri tot Cis ($\delta^{13}\text{C}$ is een relatieve maat voor het ^{13}C -gehalte). Het omzettingsproduct (Cis) bevat logischerwijs minder ^{13}C dan de uitgangsstof. In het proces gaat geen koolstof verloren en wanneer volledige omzetting is opgetreden, heeft het omzettingsproduct dezelfde samenstelling als de oorspronkelijk uitgangsstof. Omdat andere, niet-destructieve processen zoals verdunning, verdamping en binding aan de bodem geen fractionerend effect hebben, vormt isotopenfractionering doorslaggevend bewijs voor het optreden van afbraak.

Isotopenfractionering kan worden beschreven via de zogenaamde Rayleigh vergelijking. De mate van isotopenfractionering wordt daarin uitgedrukt als de fractioneringsfactor. Uit wetenschappelijk onderzoek is bekend wat de ranges van fractioneringsfactoren zijn die behoren bij de verschillende reductieve afbraakstappen.



Figuur 3.2: voorbeeld van het verloop van het ^{13}C -gehalte van Tri en Cis als functie van de mate van omzetting van Tri met een initiële $\delta^{13}\text{C}$ -waarde van -30‰ . Lijnen geven modelberekening via de Rayleigh vergelijking

Hoewel de theorie achter isotopen fractionering relatief eenvoudig is, is de interpretatie van de resultaten bij CKW-verontreinigingen complex omdat er sprake is van een sequentiële afbraak waarbij elke afbraakstap een sterker fractionerend effect heeft en omdat de verschillende stoffen verschillende transportsnelheden hebben. Om de interpretatie mogelijk te maken hebben Tauw en de VU een rekenmodel ontwikkeld waarmee transport, afbraak en isotopenfractionering van CKW kunnen worden beschreven. Dit model is beschreven in een artikel dat in 2005 is gepubliceerd (Van Breukelen et al., *Environmental Science & Technology* 39(11): 4189-4197).

3.3.2 Isotopen gegevens Veenendaal

De resultaten van de koolstof isotopen analyses aan Per, Tri en Cis zijn samengevat in de tabel hieronder. Hoewel in een aantal monsters VC is aangetroffen in concentraties die doorgaans boven de detectielimiet voor ^{13}C -analyse liggen, bleek het niet mogelijk hiervan het ^{13}C -gehalte te bepalen.

Tabel 3.2 Resultaten koolstof isotopen analyses

Meetpunt	afstand tot bron (m)	VU code	Per		Tri		Cis		VC	Eth ^s
			µg/l	δ ¹³ C	µg/l	δ ¹³ C	µg/l	δ ¹³ C	µg/l	µg/l
Bron										
Pb 204 (2,2-3,9)	0	1	13.000	-24,41*	300	-22,33	240	-22,08	<15	5,3
Pb 203 (3,5-4,5)	0	3	1.000	-26,28	420	-24,58	90	-18,34	0,89	<2
Pb 8020 (4-5)	0		110	-17,20*	110	-13,98*	350	-14,45*	17	7,7
Pb 713 F(9-10)	? [#]	2	690	-20,26*	83	-23,55*	16	-19,45	1,6	<2
Pluim										
Pb 116 F(2,4-4,1)	75	4	130	-24,17	49	-20,12	84	-20,54	2,7	<2
Pb 117 F(2,4-4,1)	75	10	0,4	-14,28	2,1	-15,13	57	-24,79	15	6,5
Pb 301 (9-10)	175	7	<0,1		0,2		170	-25,81	0,46	<2
Pb 803 (9-10)	290	6	<0,1		<0,1		12	-22,92	0,24	11
Pb 803 (19-20)	290	8	<0,1		16	23,22	200	-24,13	1,6	<2
Pb 701 F(10-11)	340		<0,1		<0,1		9,7		0	<2
Pb 715 F(4-5)	400	12	<0,1		<0,1		10	4,08	78	<2
Pb 703 (9-10)	440	9	<0,1		<0,1		28	-26,13	6,6	3,9
Pb 703 (19-20)	440	11	<0,1		<0,1	-20,12	160	-20,54	39	98

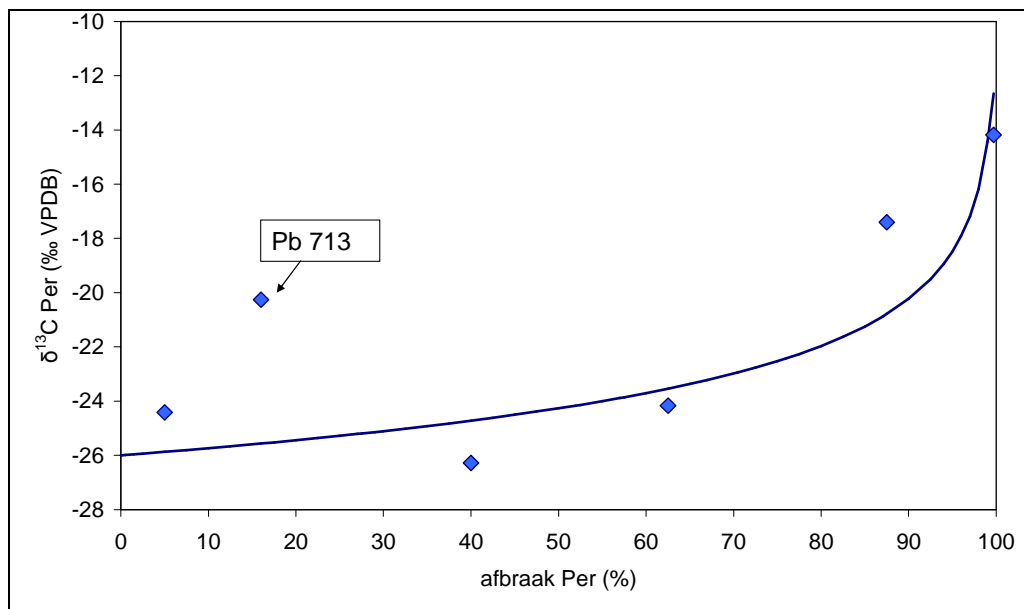
^s: etheen + ethaan

*: waarden cursief en rood zijn door TNO als weinig betrouwbaar beoordeeld en worden als indicatief gezien

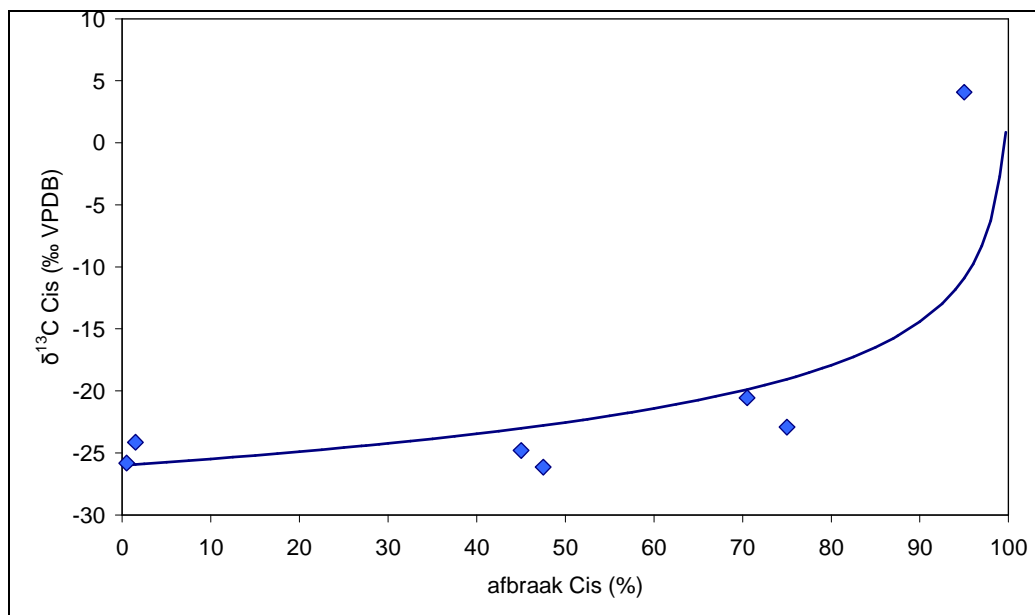
[#]: meetpunt 713 ligt ten oosten van de bronzone

Er zijn vrij weinig betrouwbare isotopen gegevens van Per en de gegevens zijn niet volledig eenduidig. Het beeld dat naar voren komt is dat van een Per-verontreiniging met een oorspronkelijke δ¹³C van ca -24 tot -26‰. Als gevolg van biologische omzetting tot lager gechloroerde ethenen treedt aanrijking van Per op. In figuur 3.3 is de isotopensamenstelling van Per uitgezet tegen de mate van afbraak van Per, waarbij de afbraak is uitgedrukt als de molaire concentratie afbraakproducten gedeeld door de molaire concentratie Per + afbraakproducten. De gemeten waarden kunnen redelijk goed worden verklaard uitgaande van isotopenfractionering als gevolg van biologische reductieve afbraak. Wat in figuur 3.3 opvalt is dat de δ¹³C-waarde van Per in pb 713 het meest afwijkt van dit beeld. Aangezien deze peilbuis 'naast' de bekende bronzone ligt op een afstand van meer dan 200 meter en eigenlijk buiten de verontreinigingspluim valt, zou de verontreiniging in deze peilbuis gerelateerd kunnen zijn aan een aparte Per-verontreiniging met een afwijkende isotopensignatuur.

De isotopen gegevens van Cis kunnen op gelijke manier als die van Per geïnterpreteerd worden. Wanneer Per volledig is omgezet tot Cis, is de δ¹³C-waarde van Cis weer gelijk aan die van het uitgangproduct (zie ook figuur 3.2). In de meetpunten waar geen Per of Tri meer aanwezig is, kan dan worden uitgegaan van Cis als uitgangproduct. In figuur 3.4 is de isotopensamenstelling van Cis weergegeven als functie van de mate van omzetting tot VC, etheen en ethaan.

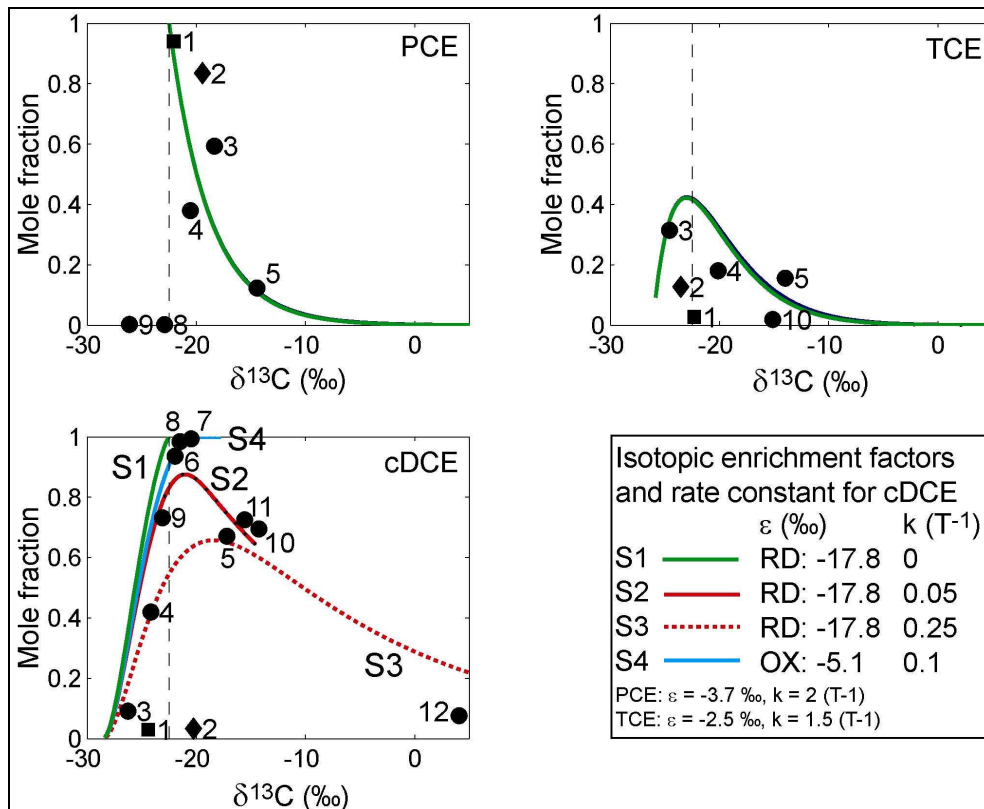


Figuur 3.3 De isotopensamenstelling van Per als functie van het afbraakpercentage van Per (uitgedrukt als de molaire concentratie afbraakproducten gedeeld door de molaire concentratie Per + afbraakproducten). Symbolen zijn meetwaarden, de curve geeft de theoretische fractionering volgens de Rayleigh vergelijking.



Figuur 3.4 De isotopensamenstelling van Cis als functie van de mate van Cis afbraak (uitgedrukt als de molaire concentratie afbraakproducten VC + etheen + ethaan gedeeld door de molaire concentratie Cis + afbraakproducten). Symbolen zijn meetwaarden, de curve geeft de theoretische fractionering volgens de Rayleigh vergelijking.

Om de gehele situatie te kunnen verklaren is een modellering met een geochemisch model uitgevoerd waarmee stoftransport, afbraak en isotopenfractionering langs één stroombaan kunnen worden gesimuleerd. Er zijn verschillende scenario's doorgerekend; de resultaten hiervan zijn gegeven in figuur 3.5.



Figuur 3.5 Modellering van afbraak en isotopen fractionering op de demonstratie-locatie Veenendaal. S1 t/m S4 geven vier verschillende simulaties met verschillende afbraakscenario's voor Cis weer (RD = reductieve dechlorering, OX = oxidatieve afbraak). Symbolen: ■: bron, ◆: secundaire bron, ●: pluim.

Deze figuur is niet eenvoudig te begrijpen, daarom hieronder een korte toelichting. De gegevens van Per (PCE) en Tri (TCE) zijn beschreven uitgaande van reductieve dechlorering (Per → Tri → Cis). Voor Cis zijn vier verschillende scenario's doorgerekend: één zonder verdere afbraak (groen), twee met reductieve afbraak (rood) en één met oxidatieve afbraak (blauw). De modellering laat zien dat het overgrote deel van de meetwaarden goed kunnen worden gesimuleerd door uit te gaan van reductieve dechlorering als afbraakproces. Er is dus geen aanwijzing dat anaërobie oxidatie van Cis een rol speelt op deze locatie

4 Conclusies

4.1 Locatiespecifieke conclusies

In het grondwater van de demonstratielocatie Veenendaal bevindt zich een vrij omvangrijke grondwaterverontreiniging met CKW. Uit resultaten van de analyses op CKW, afbraakproducten en redoxparameters blijkt dat er in het grondwater overwegend matig gunstige condities voor natuurlijke afbraak van CKW heersen, waar gedeeltelijke afbraak tot cis optreedt. Lokaal is er sprake van sterker anaërobe zones, waar wel volledige afbraak tot etheen en ethaan optreedt.

In deze studie is aanvullend onderzoek gedaan om het optreden van andere natuurlijke afbraakprocessen voor de CKW-verontreiniging in het grondwater te onderzoeken. Hierbij zijn naast de standaardmatige analyse op CKW en afbraakproducten van biologische dechlorering op een deel van de monsters de volgende analyses uitgevoerd:

- GC-MS screening op alternatieve afbraakproducten
- Componentspecifieke stabiele koolstof isotopen analyse op de aanwezige CKW

In theorie kan naast biologische reductie kan er onder anaërobe condities ook chemische reductie van Per, Tri en Cis optreden. In het grondwater in Veenendaal zijn geen vluchtige tussenproducten zoals acetyleen gedetecteerd die erop wijzen dat chemische reductie in dit geval een significante rol speelt. Etheen, het voornaamste eindproduct van chemische reductie, is alleen in het grondwater aangetroffen op plaatsen waar ook VC en methaan aanwezig zijn, zodat de aanwezigheid van etheen kan worden verklaard door het optreden van biologische reductieve dechlorering.

De uitgevoerde stabiele koolstofisotopen analyses bevestigen het beeld van een verontreinigingspluim waarin reductieve dechlorering van Per tot Cis optreedt. Zowel voor Per als Cis kan de isotopenfractionering goed beschreven worden met behulp van de Rayleigh vergelijking, wanneer uit wordt gegaan van reductieve dechlorering als enige afbraakproces. Er is dus geen bewijs voor het optreden van anaërobe oxidatie gevonden

Aanvullend wijzen de resultaten van de isotopen analyse er op dat de CKW is peilbuis 713, die niet direct in de stroombaan van de verontreiniging ligt, afkomstig zouden kunnen zijn van een andere bron.

4.2 Generieke conclusies

De situatie in Veenendaal is typisch voor een bodem met matig goede condities voor natuurlijke afbraak van CKW; een situatie die in delen van Nederland met arme bodems regelmatig voorkomt. In dergelijk gevallen is het optreden van andere NA-processen dan reductieve dechlorering van groot belang is. Wanneer voornamelijk omzetting tot Cis optreedt, is het effect van natuurlijke afbraak op de verontreiniging zelfs ongunstig: het uitgangproduct (Per of Tri) wordt namelijk omgezet in een mobieler en meer toxische verbinding. In deze studie is er geen directe aanwijzing voor het optreden van oxidatieve afbraak van Cis gevonden. Zowel de redoxparameters, de concentraties aan CKW en afbraakproducten, als de isotopensamenstelling van Per, Tri en Cis wijzen op een situatie met overwegend matig anaëroob grondwater waar de afbraak van Per slechts tot Cis verloopt. Op enkele geïsoleerde, sterker anaërobe locaties in de bodem treedt wel volledige dechlorering tot etheen en ethaan op, maar dit heeft geen groot effect op de totale pluim.

Hoewel bij dit project in een aantal meetpunten VC aanwezig is in concentraties waarvan op basis van eerdere ervaring vooraf werd verwacht dat componentspecifieke koolstofisotopen analyse mogelijk moest zijn, is het niet mogelijk gebleken de koolstofisotopensamenstelling van VC te meten. De oorzaak hiervan moet gezocht worden in de opwerkingsmethode die door TNO gebruikt wordt. Hierbij worden zogenaamde twisters gebruikt, staafjes die gecoat zijn met een stof die organische stoffen adsorbeert. Mede aan de hand van de resultaten van dit demonstratieproject heeft TNO de absorptie van VC door twisters nader onderzocht en is de procedure voor monsters waarin de isotopensamenstelling van VC gemeten moet worden aangepast. Desondanks blijft het moeilijk op voorhand een detectielimiet voor isotopen analyse van VC te geven. Als richtlijn kan worden gesteld dat bij een concentratie van 50 µg/l isotopen analyse van VC in de grote meerderheid van de gevallen toepasbaar is. Afhankelijk van de aanwezigheid of afwezigheid van storende factoren is een aanzienlijk lagere detectielimiet, zelfs tot 5 µg/l, haalbaar, maar het is nog onduidelijk wat deze storende factoren zijn.