

PROVINCIE :: UTRECHT



Titel:	Deelrapport Actualisatie-onderzoek ijzerscherp Amersfoort
Auteur:	Ir. K.R. Weytingh Ir. A.H. van de Velde
Datum:	Mei 2001
Vrijgave:	ir. K.R. Weytingh
Projectnummer:	D9913
Opdrachtgever:	SKB
Project:	Reactief ijzerscherp
Projectnummer opdrachtgever:	sv224
Consortium:	Heijmans Milieutechniek (penvoerder) The Three Engineers GeoDelft Universiteit Twente CSG Eemkwartier Gemeente Amersfoort Provincie Utrecht



Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
2	Resultaten	2
2.1	Veldwerk en analyses	2
2.2	Bodemopbouw en hydrologische situatie	3
2.3	Veldmetingen	4
3	Verontreinigingssituatie	5
4	Algemene grondwatersamenstelling	7
5	Potentie voor natuurlijke afbraak	10
5.1	Inleiding	10
5.2	Quick-Scan	10
5.3	Wiedemeier-reeks	11
5.4	Resultaten	11
6	Grondwatersanering en zuivering	13
Bijlage 1: Boorbeschrijvingen		
Bijlage 2: Overzicht veldmetingen		
Bijlage 3: Overzicht analyseresultaten		
Bijlage 4: VCK-concentraties in het grondwater		



1 Inleiding

Het onderzoeksgebied ligt in het zogenaamde Centrale Stadsgebied van Amersfoort en wordt aan de noordoostzijde begrensd door de Eem. Verder wordt het gebied grofweg ingesloten door de spoorlijn aan de zuidoostzijde, de Puntenburgerlaan aan de zuidwestzijde en de Drentsestraat/Brabantsestraat aan de noordwestzijde.

In het gebied liggen acht verontreinigde locaties:

- Actief II
- PFW-terrein
- Cliché
- Bedrijfsverzamelgebouw
- Kamphorst
- Van Nieuwenhuizen
- Intradal
- Morton

In verband met de herinrichting van het Centraal Stadsgebied dienen de locaties gesaneerd te worden. Voor de locaties Intradal en Morton blijft de industriële bestemming gehandhaafd, de overige zes locaties krijgen een woon- en/of kantoorbestemming.

Deze locaties zijn in verschillende onderzoeksfases onderzocht in de periode vanaf circa 1988 tot 1995. Door Gedeputeerde Staten van de provincie Utrecht is besloten dat de saneringslocaties integraal zullen worden aangepakt met een zogenoemde clusteraanpak. De clusteraanpak bestaat uit de grondwatersanering voor het gehele clustergebied en de grondsanering van zes van de acht locaties. De grondsaneringen op de locaties Morton en Intradal worden in eigen beheer uitgevoerd.

De grondwatersanering wordt op korte termijn opgestart. Aangezien de laatste onderzoeksgegevens van het grondwater dateren van circa 5 jaar geleden is besloten tot een actualisatie-onderzoek.

Het doel van het actualisatie-onderzoek is drieledig:

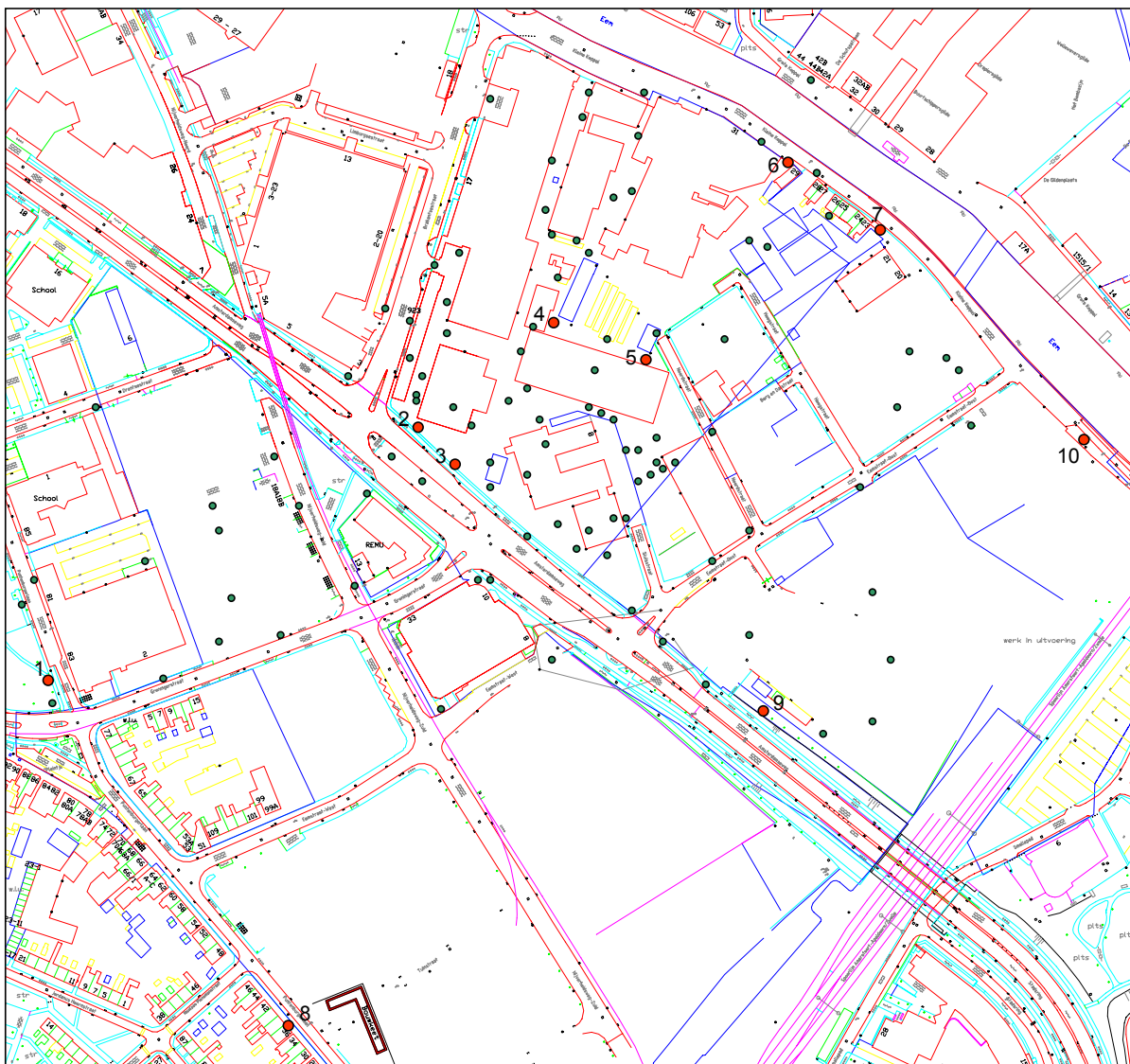
- Actualisatie van de verontreinigingssituatie
- Vaststellen van de algemene grondwatersamenstelling
- Inschatting van de potentie voor natuurlijke afbraak van de VCK-verontreiniging

Daarnaast kan op basis van deze informatie kan de opzet en wijze van uitvoering van de grondwatersanering en de zuivering vastgesteld worden.

2 Resultaten

2.1 Veldwerk en analyses

In mei 2000 zijn op tien plekken in het onderzoeksgebied boringen verricht tot circa 16 m diepte waarbij in totaal vierentwintig peil- en monsternemingsfilters zijn geplaatst. De locaties van de peilbuizen zijn aangegeven in figuur 2.1. De aangetroffen bodemprofielen en de aangebrachte filterstellingen zijn beschreven in bijlage 1.



Figuur 2.1: Locatie actualisatie-peilbuizen

De peilbuizen zijn in de periode van 11 t/m 13 juli 2000 bemonsterd. Gedurende het afpompen van de filters zijn metingen verricht op zuurstofconcentratie, redoxpotentiaal (Eh), zuurgraad (pH), elektrisch geleidingsvermogen (EC) en temperatuur (T). Daarnaast zijn de grondwaterstanden opgenomen. De resultaten van de metingen zijn opgenomen in bijlage 2.

De grondwatermonsters uit de peilbuizen zijn op een groot aantal chemische parameters geanalyseerd (zie tabel 2.1). De analyses zijn uitgevoerd door het laboratorium van de Universiteit Twente. Een overzicht van de analyseresultaten is gegeven in bijlage 3.



Tabel 2.1: Analyseprogramma

Parameter	Aantal
Nitraat	24
IJzer (II)	24
IJzer totaal	10
Sulfaat	24
Sulfide	24
Chloride	24
TOC	10
DOC	10
Zwevende stof	10
Alkaliteit	24
Pakket per, tri, 1,1 dichlooretheen, cis, trans, vinylchloride	24
Etheen	24
Methaan	24
Minerale olie/BTEX	10
Pakket Calcium, Magnesium, Kalium, Natrium, Aluminium, Ammonium	10
Pakket Zink, Nikkel, Chroom, Koper	10

Herplaatsen filters

Uit de boorbeschrijving van boring 4 blijkt dat filter 4.1 te diep is geplaatst en daardoor in dezelfde bodemlaag staat afgesteld als filter 4.2. Bij het inmeten van de filters kwam aan het licht dat de filters 7.2 en 10.1 niet conform boorbeschrijving zijn aangebracht. Deze drie filters zijn in december 2000 opnieuw geplaatst en vervolgens begin 2001 bemonsterd en geanalyseerd.

De aangepaste boorbeschrijving van filter 4.1 is in bijlage 1 opgenomen. De nieuwe analyseresultaten zijn verwerkt in bijlage 3.

2.2 Bodemopbouw en hydrologische situatie

De bodemprofielen van bijlage 1 stemmen in grote lijnen overeen met de bodemprofielen zoals die in eerdere onderzoeksfasen in het gebied zijn aangetroffen. Uit deze gecombineerde bodemprofielen blijkt dat de bodem van het onderzoeksgebied tot de onderzoeksdiepte voornamelijk uit zand bestaat waarin twee, plaatselijk drie tussenliggende veenlagen voorkomen. De eerste veenlaag ligt grofweg tussen 3 en 5 m –mv en wordt in het noordoosten van het gebied steeds dunner en minder veenhoudend. Dit laatste geldt ook voor de tweede veenlaag die zich op een diepte bevindt van grofweg 7 à 9 m –mv. Hoewel wisselend van dikte komen beide lagen over het gehele onderzoeksgebied voor. Dit geldt niet voor de derde veenlaag. Deze komt alleen in het noordelijke centrale deel van het gebied voor.

Vanaf circa 15 à 16 m diepte komt over het gehele onderzoeksgebied een circa 4 m dikke, kleiïge laag voor, de Eemklei, die de scheiding vormt naar het tweede watervoerende pakket. Een overzicht van de bodemopbouw-karakteristieken, zoals die ook in de diverse modelleringen zijn toegepast is weergegeven in tabel 2.2.

Tabel 2.2: Schematisatie bodemopbouw t.b.v. de grondwatermodellering (naar DHV, 1997)

Diepte (in m –mv)	Grondsoort	Benaming	Horizontale doorlatendheid (m/dag)	Verticale doorlatendheid (m/dag)
0 tot 3	Zand	Freatische deklaag	1	0,3
3 tot 4	Veen	Eerste tussenlaag	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
4 tot 7	Zand	Bovenste laag 1 ^e watervoerend pakket	6,7	2,2
7 tot 8	Veen	Tweede tussenlaag	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
8 tot 13	Zand	Onderste laag 1 ^e watervoerend pakket	9	3
13 tot 17	Klei	Eemklei	$1,14 \cdot 10^{-3}$	$1,14 \cdot 10^{-3}$
17 tot 100	Zand	2 ^e watervoerend pakket	60	20

Tussen het freatisch pakket boven de eerste veenlaag en het eerste watervoerende pakket boven de Eemklei bestaat geen noemenswaardig potentiaalverschil. Er is derhalve geen duidelijke infiltratie of kwel. De grondwaterstroming is noordoostelijk gericht, in de richting van de Eem die hier een drainerende werking heeft.



Tussen het eerste en het tweede watervoerende pakket bestaat in het noord-noordoostelijke deel van het onderzoeksgebied een duidelijke kweldruk. In het zuid-zuidwestelijke deel is deze veel kleiner of licht tegengesteld (lichte infiltratiedruk).

Gemeten stijghoogten

De gemeten stijghoogten zijn opgenomen in bijlage 2. Op enkele plaatsen wordt een groot verschil in de stijghoogten gemeten.

2.3 Veldmetingen

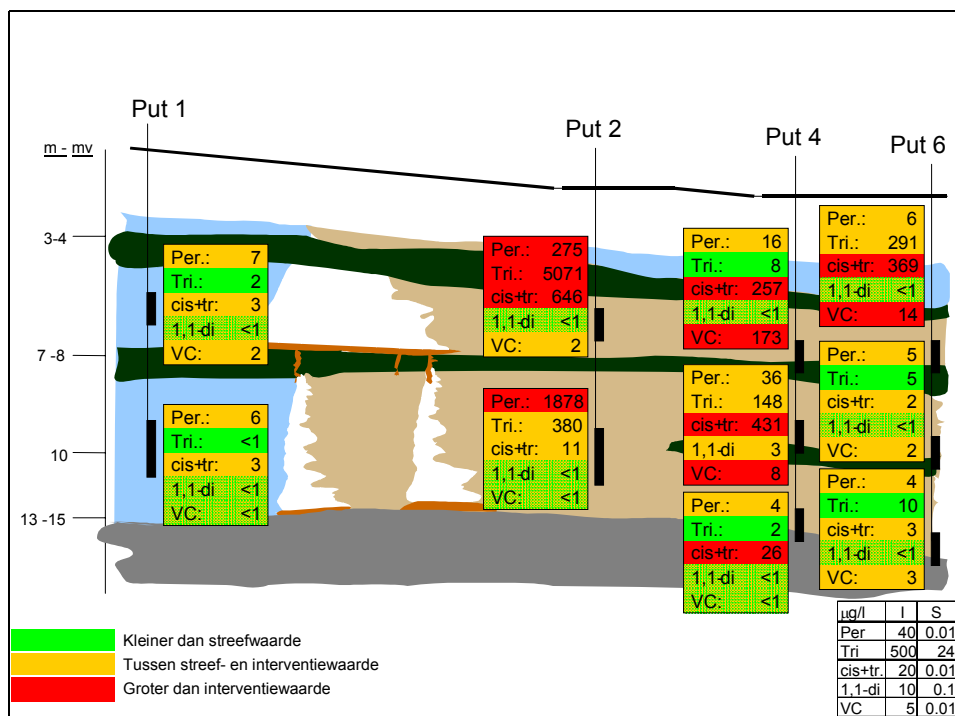
Uit de resultaten in bijlage 2 blijkt dat het grondwater anaëroob is, uitgezonderd ter plaatse van filter 1.1 waarin een spoortje zuurstof aanwezig is. Ter plaatse van filter 7.2 is een hoger zuurstofgehalte waargenomen (3,1 mg/l). Dit gehalte is moeilijk te verklaren, mogelijk is er sprake van een meetfout.

Opvallend zijn de hoge temperaturen die in het grondwater gemeten worden. De temperatuur neemt vanaf put 1 richting de Eem toe. Vanaf put 2/3 neemt eveneens de pH toe.

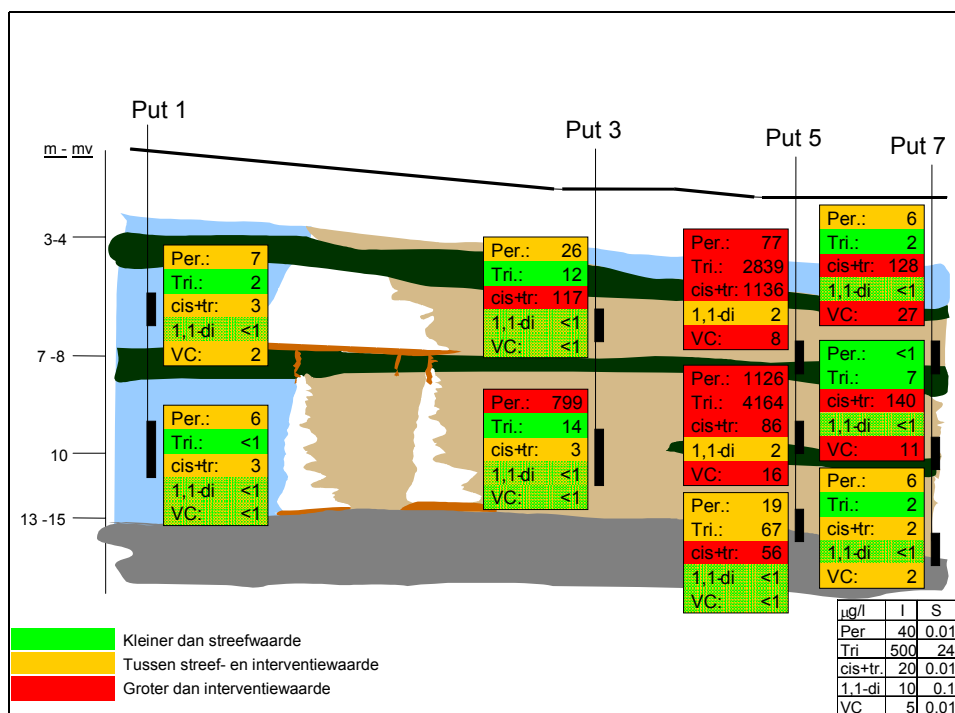


3 Verontreinigingssituatie

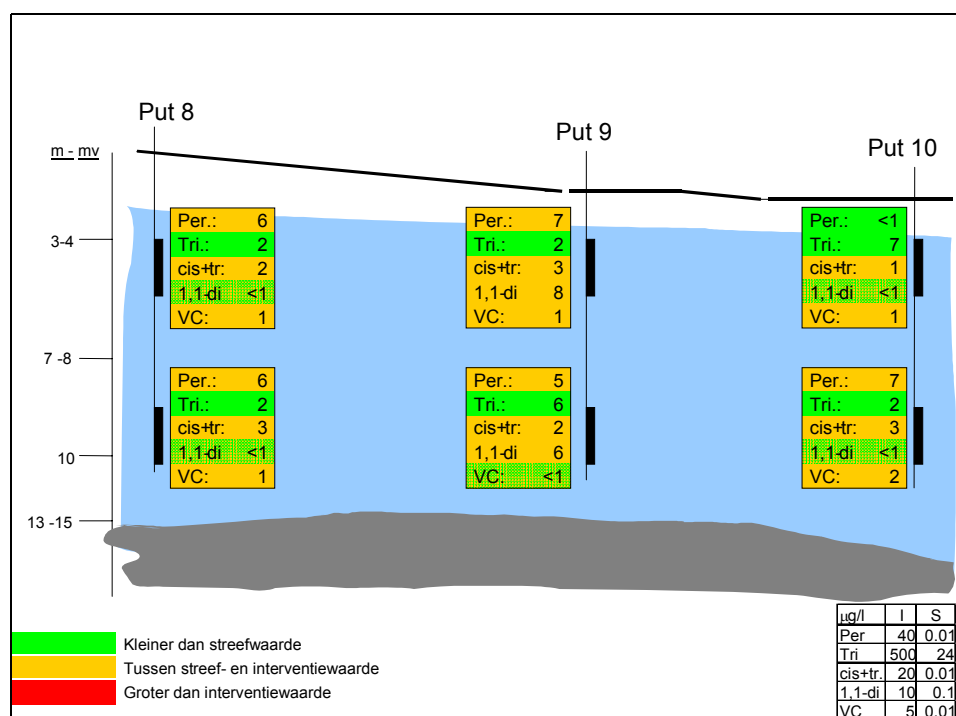
In de figuren 3.1 t/m 3.3 zijn dwarsprofielen opgenomen met de verontreinigingssituatie voor VCK in de monitoringsputten. In bijlage 4 zijn kaartjes opgenomen waarin deze resultaten zijn weergegeven gezamenlijk met (oudere) analyseresultaten van andere peilbuizen in het onderzoeksgebied.



Figuur 3.1: Dwarsprofiel peilbuis 1-2-4-6 (concentraties in µg/l)



Figuur 3.2: Dwarsprofiel peilbuis 1-3-5-7 (concentraties in µg/l)



Figuur 3.3: Dwarsprofiel peilbuis 8-9-10 (concentraties in µg/l)

Conclusies

- In het onderzoeksgebied is sprake van een 'achtergrondconcentratie' van enkele µg/l aan VCK
- Op basis van de analyseresultaten van peilbuis 5 lijkt er sprake van een extra bron ter plaatse van de bedrijfsterreinen.

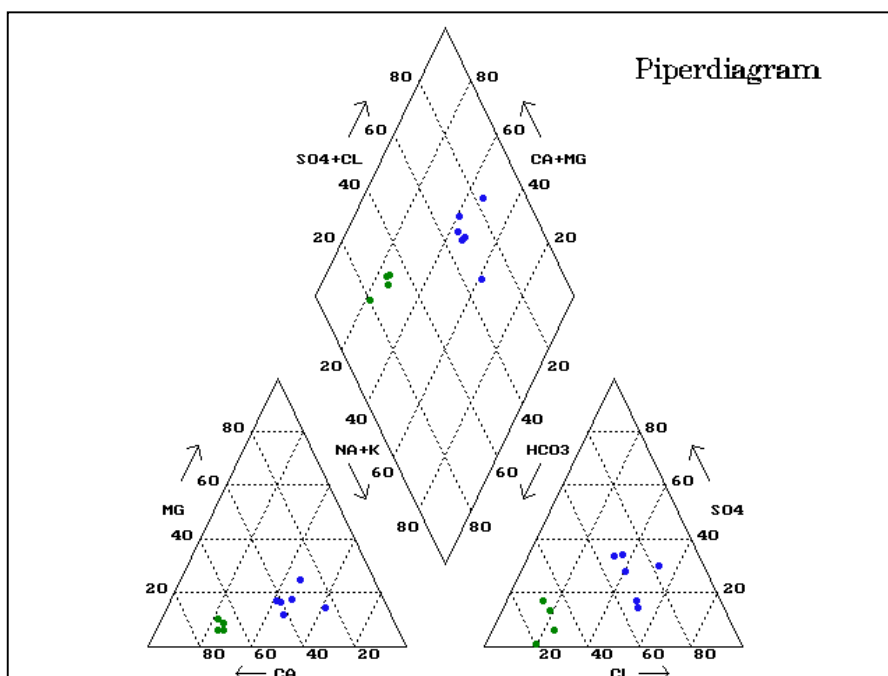
4 Algemene grondwatersamenstelling

De algemene samenstelling van het grondwater is in beeld gebracht door uit tien filters grondwatermonsters te nemen en deze te analyseren op de macro-ionen. Het betreft vier monsters uit de zandlaag direct onder de eerste veenlaag (monsters 1.1, 2.1, 4.1 en 6.1), vier monsters uit de zandlaag onder de tweede veenlaag (monsters 1.2, 2.2, 4.2 en 6.2) en twee monsters uit de zandlaag onder de slechts plaatselijk aanwezige derde veenlaag (monsters 4.3 en 6.3). De resultaten zijn geïnterpreteerd volgens de zogenaamde Stuyfzand-classificatie en weergegeven in Piper- en VanWirdum-diagrammen. De Stuyfzand-classificatie is vermeld in tabel 4.1. De Piper- en VanWirdum-diagrammen zijn weergegeven in de figuren 4.1 en 4.2.

Tabel 4.1: Classificatie van de grondwatermonsters volgens Stuyfzand en hun belangrijkste kenmerken

Monster	Classificatie	Kenmerken		
		Haliniteit	Alkaliniteit	Belangrijkste ionen
1.1	F0-CaCl 0	Zoet	Laag	Ca en Cl
1.2	F1-CaMCl +	Zoet	Matig tot laag	Ca en Cl
2.1	F1-CaCl 0	Zoet	Matig tot laag	Ca en Cl
2.2	F0-CaMCl 0	Zoet	Laag	Ca en Cl
4.1	f2-NaCl +	Zoet tot brak	Matig	Na en Cl
4.2	F1-CaMIS +	Zoet	Matig tot laag	Ca en SO ₄
4.3	g2-CaHCO ₃ 0	Zoet tot zeer zoet	Matig	Ca en HCO ₃
6.1	F2-CaHCO ₃ 0	Zoet	Matig	Ca en HCO ₃
6.2	g1-CaHCO ₃ 0	Zoet tot zeer zoet	Matig tot laag	Ca en HCO ₃
6.3	g1-CaHCO ₃	Zoet tot zeer zoet	Matig tot laag	Ca en HCO ₃

Uit tabel 4.1 volgt dat het grondwater in de directe omgeving van de locatie kan worden getypeerd als zoet tot zeer zoet grondwater met een lage tot matige alkaliniteit en waarin vooral calcium (Ca) als dominant kation en chloride (Cl) of bicarbonaat (HCO₃) als dominant anion voorkomen. De relatief kleine verschillen in grondwatersamenstelling komen goed tot uiting in de Piper- en VanWirdum-diagrammen.



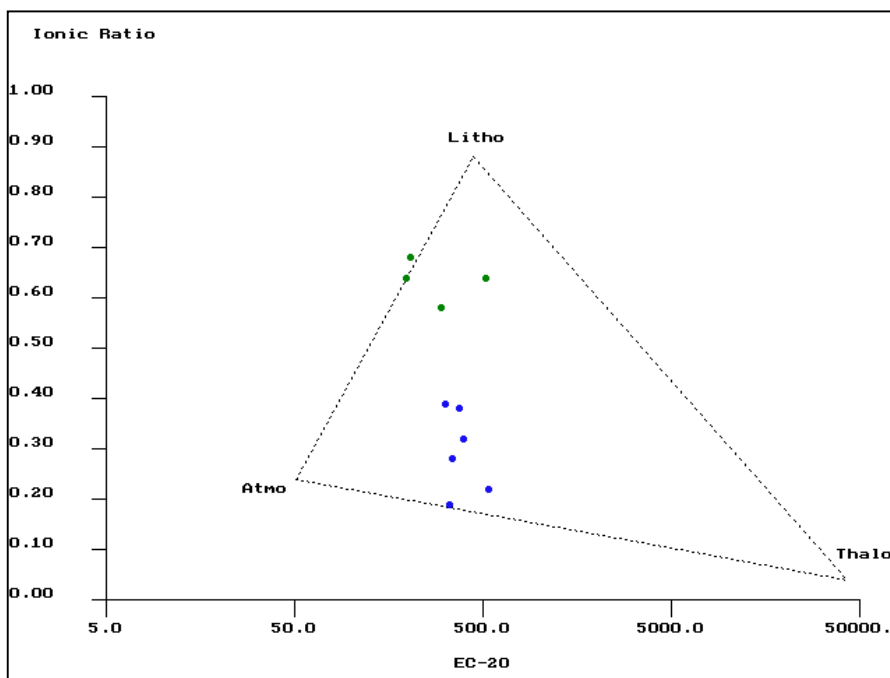
Figuur 4.1: Piperdiagram grondwater Centraal Stadsgebied Amersfoort; juli 2000

Uit figuur 4.1 blijkt dat de grondwatermonsters op basis van hun macrosamenstelling kunnen worden ingedeeld in twee clusters. De eerste cluster is in de figuur in blauw weergegeven en omvat de monsters van de peilbuizen 1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 4.1 en 4.2.

Dit water kan worden omschreven als een zoet CaCl-type grondwater met een lage alkaliteit en een pH tussen 6,0 en 6,5. De tweede cluster is in groen weergegeven en omvat de monsters van de peilbuizen 4.3, 6.1, 6.2 en 6.3. Dit water kan worden omschreven als een zeer zoet CaHCO₃-type grondwater met een matige alkaliteit en een pH tussen 7,0 en 8,0.

De relevantie van de Stuyfzand-classificatie ligt voornamelijk in de koppeling van de indeling op basis van chemische kenmerken aan een ruimtelijke indeling. Op de locatie lijken, hoe klein de verschillen ook zijn, twee typen grondwater aanwezig te zijn. Het eerste type komt vooral voor op de locatie zelf en in het stroomopwaarts gelegen terrein, het tweede type komt vooral stroomafwaarts voor en, voorzover sprake is van een tweede veenlaag, in het daaronder gelegen zandpakket. Behalve door het registreren van grondwaterstanden kan derhalve ook uit de chemische karakterisering aanwijzingen worden gevonden van eventueel zich wijzigende grondwaterstromingen ten gevolge van sanerings- of andere werkzaamheden op en bij de locatie.

Het onderscheid tussen de beide typen grondwater op de locatie kan tenslotte (ook nog eens) in een VanWirdum-diagram worden weergegeven. Het VanWirdum-diagram geeft aan dat het eerste type grondwater vooral een regenwaterachtig karakter heeft (atmo) terwijl het tweede type al veel meer door de bodem is beïnvloed (litho). Het lijkt er derhalve op dat het grondwater op meetpunt 6 en dieper op meetpunt 4 al langer in de bodem aanwezig is dan het grondwater op de meetpunten 1 en 2.



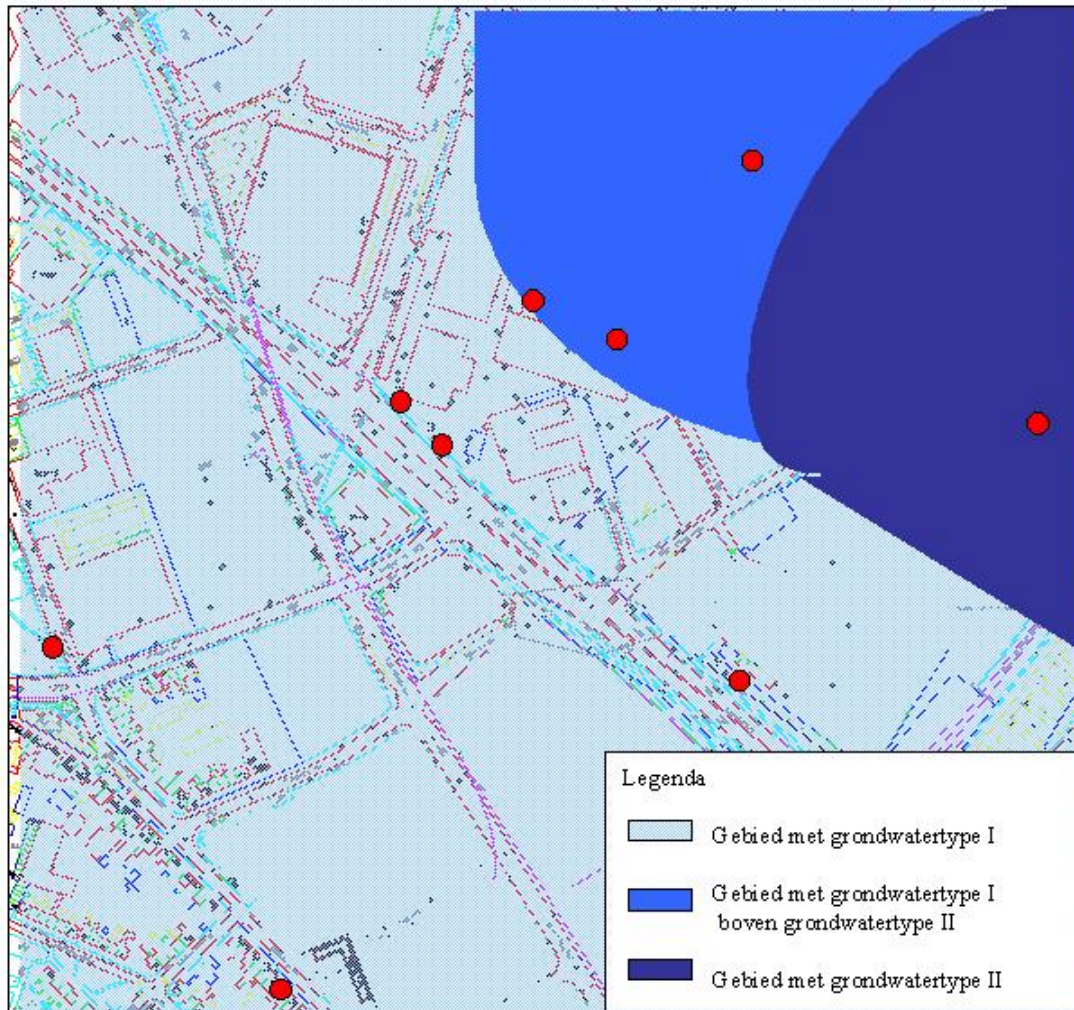
Figuur 4.2: VanWirdum-diagram grondwater Centraal Stadsgebied Amersfoort; juli 2000

Behalve in de tien genoemde peilbuizen is de pH ook in de overige peilbuizen in het onderzoeksgebied gemeten. Omdat de pH van beide grondwatertypen zo duidelijk verschilt, kan de pH daarom worden gebruikt om de aanwezigheid van het ene of van het andere grondwatertype op de locatie te voorspellen. De relatief lage pH-waarden van 5 tot 6 à 6,5 op de locaties 1, 2, 3, 8 en 9 en in de peilbuizen 4.1, 4.2, 5.1, 5.2, 6.1 en 6.2 duiden dan op de aanwezigheid van het eerste grondwatertype. De relatief hoge pH-waarden van 7 à 8 op de locaties 7 en 10 alsmede in de peilbuizen 4.3, 5.3 en 6.3 duiden op de aanwezigheid van het tweede grondwatertype.

Opvallend in deze vertaling van grondwatertypen is dat de pH-waarden zoals die in het veld gemeten zijn in enkele peilbuizen lager zijn dan bij analyse in het laboratorium. Dit betreft het grondwater in de peilbuizen 6.1 en 6.2.

Het algemene beeld van de macrosamenstelling van het grondwater is dan dat van een zeer zoet, laag alkalisch grondwater met een pH van 5 à 6 dat in het noordoostelijke deel grenst aan een zoet, matig alkalisch grondwater met een pH van 7 à 8.

Dit laatste grondwatertype schuift in het noordelijke centrale deel van het onderzoeksgebied onder het eerste grondwatertype; namelijk daar waar de derde veenlaag aanwezig is. De ligging van de gebieden met de onderscheiden grondwatertypen zijn weergegeven in figuur 4.3.



Figuur 4.3: Ligging van de gebieden met de beide onderscheiden grondwatertypen



5 Potentie voor natuurlijke afbraak

5.1 Inleiding

Met behulp van twee snelle technieken is het mogelijk om een inschatting te maken van de mate waarin het optreden van natuurlijke biologische afbraak in grond waarschijnlijk is:

- Quick-Scan, ontwikkeld door TNO
- Wiedemeier reeks, ontwikkeld door Todd Wiedemeier.

Beide technieken maken gebruik van een puntensysteem, waarbij gunstige condities veel en ongunstige condities geen of weinig punten opleveren. De condities worden bepaald door een aantal meetgegevens, die indicatief zijn voor het volgende:

- aëroob (ongunstig) of anaëroob (gunstig) milieu
- mate van dechlorering (hoe meer dechlorering hoe gunstiger). Dit is een aanwijzing voor de mate waarin afbraak reeds heeft plaatsgevonden: per → tri → dce → vc → etheen/ethaan
- redox potentiaal (hoe lager hoe gunstiger). Er moeten reducerende omstandigheden heersen.
- gehalte opgelost organisch koolstof (hoe meer hoe gunstiger). Organisch koolstof is de energiebron voor de micro-organismen die voor de reactie verantwoordelijk zijn.

5.2 Quick-Scan

Allereerst wordt bepaald of het systeem anaëroob is. Indien dit het geval is worden er punten toegekend volgens tabel 5.1. Een totaal van 10 punten is dus haalbaar.

Tabel 5.1: Puntensysteem Quick-scan

Wat	Criterium	Punten
Dechloreringsgraad	>80 %	4
	60 tot 80 %	3
	30 tot 60 %	2
	< 30%	1
Redox	sulfaatreducerend/methanogeen	3
	ijzerreducerend	2
	nitraatreducerend	1
Dissolved Organic carbon (DOC)	> 10mg/l	3
	5 tot 10 mg/l	2
	< 5 mg/l	1

De totaalscores van de Quick-Scan leiden tot de volgende conclusies:

- 0 t/m 4 punten: natuurlijke afbraak is een kansarme saneringsoptie
- 5 t/m 7 punten: natuurlijke afbraak heeft als saneringsoptie een kans
- 8 of meer punten: natuurlijke afbraak is een kansrijke saneringsoptie



5.3 Wiedemeier-reeks

Bij de Wiedemeier-reeks worden punten toegekend volgens tabel 5.2.

Tabel 5.2: Puntensysteem Wiedemeier-reeks

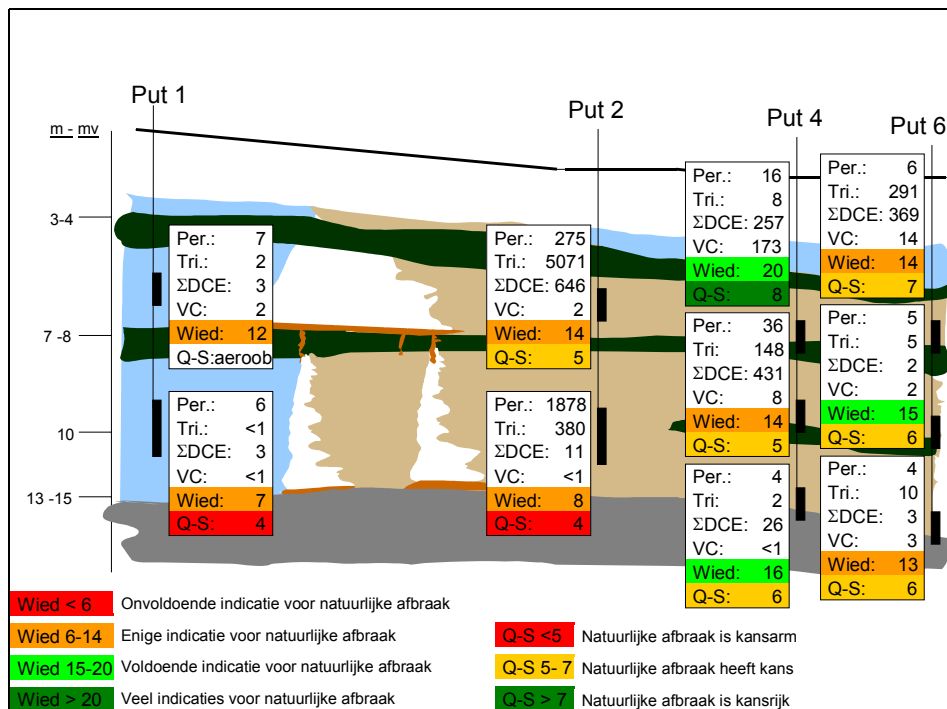
Analyse	Concentratiegebied	Punten	Interpretatie
Zuurstof	< 0,5 mg/l > 1 mg/l	3 -3	Bij hogere gehalten wordt het afbraakproces verstoord Aërobe afbraak van VC maar geen afbraak per, tri en cis
Nitraat	< 1 mg/l	2	Bij hogere gehalten kan nitraat in competitie gaan en afbraakproces frustreren
IJzer (II)	> 1 mg/l	3	Volledige reductieve afbraak mogelijk
Sulfaat	< 20 mg/l	2	Bij hogere gehalten kan sulfaat in competitie gaan en het afbraakproces frustreren
Sulfide	> 1 mg/l	3	Volledige reductieve afbraak mogelijk
Methaan	< 0,1 mg/l < 1 mg/l > 1 mg/l	0 2 3	Oxidatie van vinyl chloride Accumulatie van vinyl chloride Optimale afbraak
Eh	< 50 mV < -100 mV	1 2	Reductieve dechlorering mogelijk Optimale condities voor reductieve dechlorering
pH	5 < pH < 9		Toegestane reeks voor reductieve dechlorering
DOC	> 20 mg/l	2	Nodig voor reductieve dechlorering
Temp	> 20 °C	1	Versnelling van reductieve dechlorering
Kooldioxide	> 2 x achtergrond	1	Ultiem afbraakproduct
Alkaliteit	> 2 x achtergrond	1	Resultaat van interactie van CO ₂ met bodemmateriaal
Chloride	> 2 x achtergrond	2	Product van reductieve dechlorering
Waterstof	> 1 nM < 1 nM	3 0	reductief pad mogelijk; VC accumulatie mogelijk. VC wordt geoxideerd
Vluchtige vetzuren	> 0.1 mg/l	2	tussenproducten van biologische afbraak van aromaten; koolstof- en energiebron
BTEX	> 0.1 mg/l	2	Koolstof- en energiebron; drijft dechlorering
Per			Oorspronkelijk product
Tri	indien aanwezig als reactieproduct	2	Oorspronkelijk product of reductieve dechlorering van per
Dichlooretheen	indien aanwezig als reactieproduct	2	Oorspronkelijk product of reductieve dechlorering van tri. Indien cis >80% van totale dichlooretheen waarschijnlijk afbraakproduct
Vinylchloride	indien aanwezig als reactieproduct	2	Oorspronkelijk product of reductieve dechlorering van dichlooretheen
Etheen/Ethaan	> 0,01 > 0,1	2 3	Resultaat van reductieve dechlorering van VC Goed resultaat van reductieve dechlorering van VC

De totaal scores van de Wiedemeier reeks leiden tot de volgende conclusies:

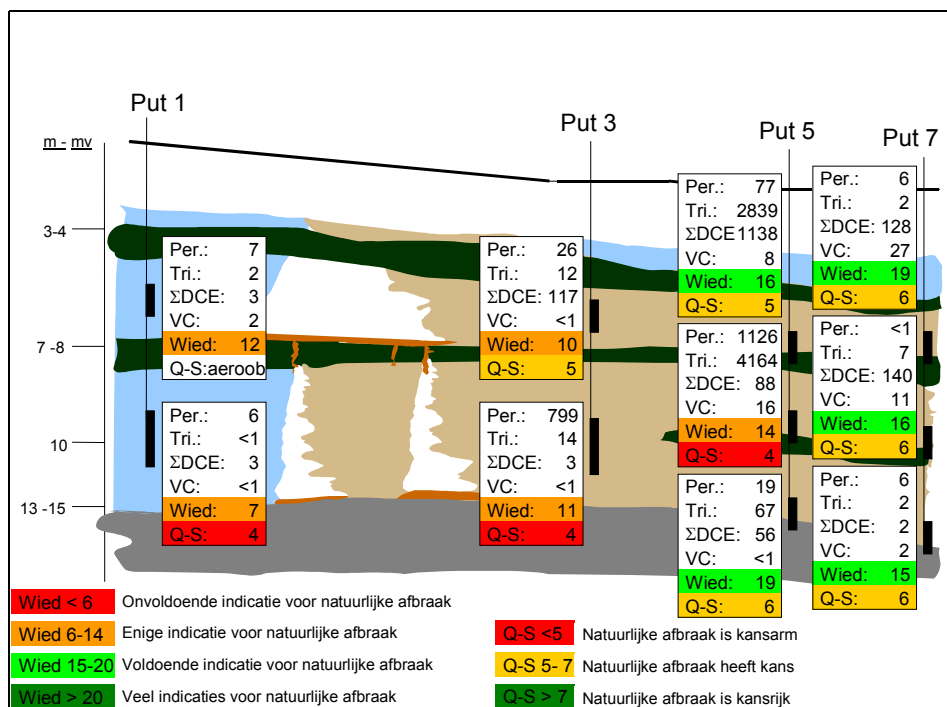
- 0 t/m 5 punten: onvoldoende indicatie voor natuurlijke afbraak
- 6 t/m 14 punten: enige indicatie voor natuurlijke afbraak
- 15 t/m 20 punten: voldoende indicatie voor natuurlijke afbraak
- meer dan 20 punten: veel indicatie voor natuurlijke afbraak

5.4 Resultaten

De resultaten van de Quick-Scan en Wiedemeier berekeningen zijn weergegeven in figuren 5.1 en 5.2.



Figuur 5.1: Potentie voor anaërobe afbraak; dwarsprofiel 1-2-4-6 (concentraties in µg/l)



Figuur 5.2: Potentie voor anaërobe afbraak; dwarsprofiel 1-3-5-7 (concentraties in µg/l)

Conclusies

- Beide methodieken tonen dat er, stroomafwaarts van Actief (vanaf put 2 en 3 aan de Amsterdamseweg), enige tot voldoende indicatie is voor het optreden van natuurlijke afbraak
- Gezien de aanwezigheid van veenlagen ligt het in de lijn der verwachting dat er een sterke indicatie voor natuurlijk afbraak in de pluim aanwezig zou zijn. Mogelijk wordt dit beeld vertroebeld door de aanwezigheid van bronlocaties ter plaatse van de bedrijfsterreinen.

6 Grondwatersanering en zuivering

Inleiding

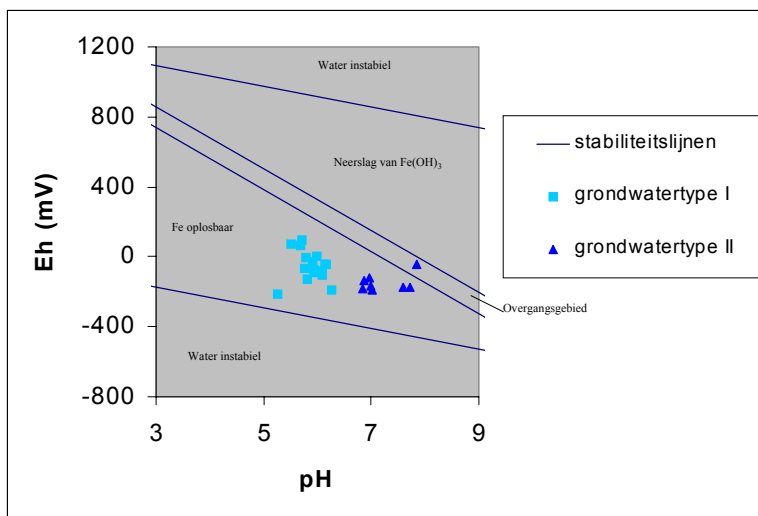
In het Centraal Stadsgebied (CSG) te Amersfoort is sprake van een verontreiniging met chloorkoolwaterstoffen (CKW). Dergelijke verontreinigingen hebben over het algemeen een bron en een pluim. Zo ook het CSG-gebied. De bronzone bevindt zich tot zo'n 13 m-mv. in de ondergrond van de Actief II locatie. Over het gehele CSG-gebied zijn hier en daar nog wat andere bronnen met soms wat andere verontreinigingen, deze zijn echter relatief veel kleiner dan de Actief-bron. In het grondwater, de pluim, worden met name CKW's aangetroffen. Op enkele plaatsen bevinden zich zware metalen (nikkel en zink) en benzeen (alle lager dan interventiewaarde) in het grondwater.

De sanering van het CSG-gebied bestaat, naar een plan uit 1995, uit het wegnemen van de bronnen of het zodanig isoleren daarvan dat de bronnen geen verontreinigingen meer naleveren naar de pluim. Na deze isolatie kan de pluim worden gesaneerd. Voor de sanering van de pluim is in het plan uitgegaan van een uniform over de locatie verdeeld pump and treat systeem. De provincie heeft daarbij aangegeven dat het onttrokken grondwater grotendeels weer moet worden geïnfiltreerd. Dit werd in die tijd door de ontwerpers niet als een nadeel ervaren. Een pump and treat systeem is er immers op gericht de verontreinigde pakketten zoveel mogelijk malen te doorspoelen om ook gesorbeerde verontreiniging te verwijderen. Gezien de aanwezigheid van veenlagen werd de hoeveelheid gesorbeerd materiaal hoog ingeschat. De mogelijke verhoging van onttrekkingsdebiet omdat de grondwaterstandsverlagingen werden verminderd door de infiltratie werd als een voordeel beschouwd. De infiltratie is derhalve direct in het systeem geïntegreerd. Volgens het oorspronkelijke grondwater saneringsplan zal op de locatie circa 1555 m³/dag worden onttrokken en circa 1422 m³/dag worden geïnfiltreerd. Hiermee worden de verontreinigde grondwaterpakketten zo'n twee tot drie maal per jaar, gedurende 15 jaar doorspoeld, waarbij een zuiveringsinstallatie met een capaciteit tot 1555 m³/dag het grondwater moet zuiveren.

In de laatste vijf jaar is veel ervaring opgedaan met pump and treat systemen, maar ook met afbraakprocessen en het gebruik daarvan in alternatieve saneringssystemen. Als deze kennis wordt toegepast op het uit te voeren grondwatersaneringssysteem worden daarbij een aantal knelpunten gesignaleerd.

Infiltratie

Afhankelijk van de concentratie aan ijzer, de zuurgraad en de redoxpotentiaal kunnen in de bodem neerslagen worden gevormd van ijzerhydroxiden. Dit is weergegeven in het pe-pH-diagram in figuur 6.1. Het weergegeven diagram is gebaseerd op de vorming van amorf Fe(OH)₃ en een aanwezige ijzerconcentratie tussen 10⁻⁶ en 10⁻⁴ M, zoals in metingen op de locatie is aangetroffen.



Figuur 6.1: pe-pH diagram



Het pe-pH-diagram is verdeeld in vijf vlakken. Het bovenste en onderste vlak geven de 'gebieden' weer waarin water niet stabiel is en overgaat in respectievelijk O_2 en H_2O en in H_2 en H_2O . Deze gebieden zijn in het veld niet aan de orde. Van de resterende drie vlakken geeft het bovenste vlak het 'gebied' weer waarin neerslagen van (driewaardig) ijzerhydroxide worden gevormd. Het onderste vlak geeft het 'gebied' waarin geen neerslagen aanwezig kunnen zijn en het middelste vlak geeft het 'overgangsgebied' waarin niet kan worden uitgesloten dat zich neerslagen van ijzer(III)hydroxide vormen.

In de figuur zijn verder de redoxomstandigheden (d.w.z. de zuurgraad en de redoxpotentiaal) aangegeven waarin zich het grondwater op de verschillende meetpunten bevindt. Onderscheid is gemaakt naar meetpunten in de beide aangetroffen grondwatertypen (I en II). Uit de figuur blijkt dat met name in grondwatertype II de kans bestaat dat een relatief geringe toename in redoxpotentiaal neerslagvorming veroorzaakt. Eén meetpunt bevindt zich zelfs nú al in het 'overgangsgebied'. Duidelijk is ook dat infiltratie van aëroob water, met een redoxpotentiaal van circa 800 mV of hoger, zeker neerslagvorming zal veroorzaken. Hetgeen naar verwachting tot grote infiltratieproblemen zal veroorzaken.

De gevoeligheid voor neerslagvorming van ijzer(III)hydroxiden kan worden verminderd indien tevens de pH wordt verlaagd. Dit heeft vermoedelijk echter ook andere effecten die moeilijk voorspelbaar en wellicht ongewenst zijn. Infiltratie van aangezuurd water wordt daarom onwenselijk geacht. Daarnaast zal het rücksichtloos infiltreren van de geplande hoeveelheid zuurstofrijk water de kans om gebruik te maken van anaërobe biologische afbraak in ieder geval wegnemen.

Het alternatief om een anaërobe zuivering te plaatsen zal naar verwachting het probleem verschuiven naar de zuivering. Hiermee is te weinig ervaring opgedaan om een betrouwbare installatie te bouwen voor dergelijke debieten. Het anaëroob biologisch zuiveren van grondwater staat in de kinderschoenen. De eerste ervaringen worden momenteel opgedaan met veel lagere debieten (30 tot 40 m³/dag). Wellicht dat deze mogelijkheid over een paar jaar wel bestaat. Ook de fysische technieken staan in de kinderschoenen, maar kunnen wel reeds ingezet worden.

Biologische afbraak

In het grondwater wordt natuurlijke anaërobe afbraak van CKW's geconstateerd. Een eerste screening (Wiedemeier-toets) laat zien dat stroomafwaarts van de Actief locatie enige tot voldoende indicaties zijn dat zich condities voordoen voor een volledige anaërobe afbraak van CKW's. De Quickscan ontwikkeld door TNO geeft aan dat natuurlijke afbraak als saneringsoptie een kans maakt. Anders gezegd: de condities in het grondwater zijn anaëroob. De anaërobe afbraak van tri en per treedt op, maar onduidelijk is of dit proces geheel doorzet naar etheen. De afbraak lijkt te blijven steken bij cis en/of vc. De continue aanvoer van verse per en tri uit de bron bij Actief en de waarschijnlijke aanwezigheid van CKW-bronnen op de bedrijfsterreinen vertroebelen de waarneming.

De volgende kanttekeningen kunnen geplaatst worden bij biologische afbraak van VCK:

1. Over het algemeen kunnen tri, cis en vc (niet per!) aëroob worden afgebroken tot etheen.
2. De condities in veenlagen zijn over het algemeen gunstig voor anaërobe afbraak van CKW's (hoge sorptie, sterk anaëroob, veel organisch materiaal). De condities voor anaërobe afbraak in een watervoerend pakket kunnen gefrustreerd worden door instroom van zuurstof en/of nitraat.
3. Benzeen kan als koolstofbron dienen voor de anaërobe afbraak van CKW's.
4. Nikkel en zink slaan neer met sulfide dat gevormd wordt wanneer sulfaat de motor is van anaërobe afbraak van CKW's.
5. Het infiltreren van zuurstofrijk water zal het natuurlijke anaërobe afbraak proces in de watervoerende pakketten rondom de veenlagen stoppen.
6. Het infiltreren van zuurstofrijk water kan de aërobe afbraak van een eventuele niet volledige anaërobe afbraak afbraakproducenten (tri, cis en vc) in de watervoerende pakketten tot stand brengen.
7. De afbraak van cis in de watervoerende pakketten kan worden versneld door de toevoeging van nutriënten als methanol of lactaat.



De biologische afbraak op onderhavige locatie betreft een complex proces met de nodige knelpunten, maar biedt wel mogelijkheden.

Langere saneringsduur

De veenlagen zullen voor een stagnatie van de sanering zorgen. Uitgangspunt van de grondwatersanering is het bereiken van de streefwaarde. Ervaring met grondwatersaneringen heeft geleerd dat na verloop van tijd stagnatie optreedt in de afname van de concentraties in het grondwater en het opgepompte water.

Ter bepaling van de saneringsduur zijn door DHV (Dimensionering grondwatersanering, juli 1997) voor de maatgevende componenten berekeningen uitgevoerd met behulp van het computerprogramma SORTRAN. Hierbij wordt in één dimensie (langs een stroombaan) het concentratieverloop in de tijd berekend zowel aan het stroomafwaartse eind van de stroombaan (dus ter plaatse van het onttrekkingspunt) als langs de stroombaan.

Bij de berekeningen is gerekend met een gehalte aan organische stof in het eerste watervoerend pakket van 2%. Dit is een gemiddelde waarde waarin de venige laagjes zijn verdisconteerd. Het blijkt dat stagnatie in de afname van concentraties in het opgepompte water en het grondwater te verwachten is bij eindconcentraties aan per, tri en cis van circa 2-10 µg/l. Bij de berekeningen is de periode tot het bereiken van de 'stagnatieconcentraties' beschouwd als de saneringsduur (= 15 jaar).

De eindconcentraties worden mede bepaald door nalevering uit de veenlaag. Het organische stofgehalte in deze veenlaag is uiteraard hoger dan 2%, waarmee de berekeningen zijn uitgevoerd. De sanering van deze (dunne) lagen wordt gedomineerd door diffusie. Dit gecombineerd met het gegeven dat de verontreiniging met name in de veenlagen zit, leidt tot de conclusie dat de saneringsduur aanzienlijk langer zal duren dan 15 jaar.

Aanvullende bronnen van CKW

Naar verwachting zijn er, naast de bron op het Actief-terrein, nog aanvullende bronnen van CKW aanwezig op de bedrijfsterreinen. Indien er geen maatregelen worden genomen (isolatie of verwijdering) zullen deze bronnen bij een grondwatersanering gedurende lange tijd naleveren (ordegrootte: tientallen jaren). Hetgeen leidt tot het falen van de grondwatersanering.

Milieurendement

Het te implementeren systeem is zeer intensief en kent weinig milieurendement.



Bijlage 1: Boorbeschrijvingen



Bijlage 2: Overzicht veldmetingen

Peilbuis	Filter (m-mv.)	Gws (m-mv.)	Datum	Tijd	Zuurstof	Eh	pH	EC	Temp.
1.1	5,7-7,2	2,87	13-7-2000	10:00	2,5	-109	5,95	444	13,5
				10:05	1,9	-121	5,85	457	13,4
				10:10	1,9	-128	5,92	457	13,2
				10:15	1,9	-126	5,8	457	13,3
1.2	9,45-11,45	2,87	13-7-2000	9:30	1,9	109	5,77	312	13,2
				9:35	1,3	101	5,75	321	13
				9:37	0,7	96	5,84	326	12,9
				9:40	0,7	93	5,72	324	12,9
2.1	5,43-6,93	1,74	12-7-2000	13:42	3,3	-89	6,55	278	17,4
				13:45	1,2	-53	5,96	269	14,8
				13:50	0,5	-35	5,89	279	14,5
				13:55	0,6	-27	5,9	277	14,3
2.2	9,4-11,4	1,74	12-7-2000	14:19	3,4	5	6,04	259	15,3
				14:25	1,1	2	5,83	250	14,6
				14:30	0,6	2	5,76	254	14,5
				14:35	0,6	-1	5,78	254	14,5
3.1	5,54-7,04	1,81	12-7-2000	15:05	2,8	-55	5,73	314	14,8
				15:10	1	-57	5,79	318	14,1
				15:15	0,6	-64	5,75	318	13,9
				15:20	0,6	-69	5,76	308	13,8
3.2	9,56 –11,56	1,82	12-7-2000	15:35	3,8	1	6,02	295	15
				15:40	0,8	47	5,65	288	14
				15:45	0,6	60	5,58	289	13,9
				15:50	0,7	62	5,68	290	14,1
4.1*	6,99-7,99	3,23	12-7-2000	9:40	1,1	-90	5,9	231	15,9
				9:45	0,6	-88	5,91	249	15,3
				9:50	0,5	-88	5,9	255	15
				9:55	0,5	-89	5,93	270	14,8
4.2	9,03-10,03	3,22	12-7-2000	10:10	1,6	-76	6,12	309	15,9
				10:15	1,4	-76	6,06	316	15,7
				10:20	0,5	-80	6,07	320	15,5
				10:25	0,6	-82	6,09	317	15,6
4.3	12,8-13,8	3,06	12-7-2000	10:50	2,1	-139	6,86	233	17,2
				10:55	1,3	-156	6,96	228	16,3
				11:00	0,7	-163	6,95	243	16,2
				11:05	0,7	-167	6,99	229	16,3
5.1	6,12-7,12	3,09	12-7-2000	11:35	3,8	-88	6,19	330	16,2
				11:40	2,3	-77	6,04	321	15,4
				11:45	1	-72	5,95	333	14,8
				11:50	0,6	-75	5,98	332	14,7
5.2	9,09-10,09	3,08	12-7-2000	11:55	0,6	-77	5,94	336	14,6
				12:08	4	-43	6,31	310	15,3
				12:15	1,2	-50	6,21	314	14,7
				12:20	0,6	-39	6,18	306	14,6
5.3	12,52-13,52	3,07	12-7-2000	12:25	0,6	-42	6,15	314	14,7
				12:47	4,1	-139	6,84	297	15,7
				12:50	2	-147	6,77	299	15,3
				12:55	1,1	-161	6,82	303	15,1
6.1	7,19-8,19	1,73	11-7-2000	13:00	0,5	-172	6,82	304	15,1
				13:05	0,6	-180	6,84	300	15,1
				12:50	1,5	-118	4,96	379	15,7
				12:57	0,6	-157	4,93	367	15,8
6.2	10,15-11,15	1,63	11-7-2000	13:05	0,6	-179	4,04	335	15,8
				13:10	0,7	-187	6,14	336	15,8
				13:15	0,5	-190	6,26	334	15,8
				13:24	3	-181	4,48	128	16,1
6.3	13,01-14,01	1,36	11-7-2000	13:30	0,6	-203	4,23	133	15,6
				13:35	0,5	-212	4,38	127	15,4
				13:40	0,5	-214	5,14	135	15,4
				13:45	0,5	-216	5,26	133	15,4
6.3	13,01-14,01	1,36	11-7-2000	14:10	2,1	-156	7,96	118	16,4
				14:15	1,6	-171	7,76	122	16,2
				14:20	1,2	-180	7,82	118	16,3
				14:27	0,8	-176	7,69	126	16,3
6.3	13,01-14,01	1,36	11-7-2000	14:35	0,8	-176	7,72	123	16,2



Peilbuis	Filter (m-mv.)	Gws (m-mv.)	Datum	Tijd	Zuurstof	Eh	pH	EC	Temp.
7.1	6,39-7,39	1,67	11-7-2000	10:50	2,9	5	6,75	378	16,3
				10:55	0,8	-85		271	14,3
				11:00	0,6	-114	6,8	280	13,8
				11:03	0,5	-122	6,82	272	13,7
				11:05	0,4	-124	6,96	239	13,6
7.2*	7,43-8,43	0,08	11-7-2000	11:34	3,7	-37	5,93	150	14,7
				11:40	3,1	-44	7,93	149	14,8
				11:45	3,1	-43	7,85	151	14,7
7.3	14,33-15,33	0,08	11-7-2000	11:55	0,8	-113	8,13	127	13,1
				12:00	0,9	-146	8,14	131	12,9
				12:05	0,8	-159	7,8	132	12,6
				12:05	0,6	-169	7,62	132	12,5
				12:07	0,6	-173	7,59	132	12,5
8.1	4,3-6,3	2,82	13-7-2000	10:40	5,2	-81	6,24	362	13,6
				10:45	0,9	-62	6,15	360	13,4
				10:50	0,6	-50	6,17	367	13,2
				10:55	0,7	-43	6,17	371	13,1
8.2	8,48-10,48	2,83	13-7-2000	11:05	3,3	30	5,69	298	13,2
				11:10	0,8	58	5,44	299	12,9
				11:15	0,7	70	5,49	299	12,8
				11:20	0,7	74	5,5	303	12,8
9.1	3,05-5,05	3,13	13-7-2000	11:55	2,1	31	6,08	769	13,9
				12:00	1	12	5,97	747	13,8
				12:05	0,6	10	6,07	745	13,8
				12:10	0,6	2	5,98	753	13,8
9.2	9,44-11,44	3,11	13-7-2000	12:27	3,6	-88	6,18	406	14,1
				12:30	1,6	-94	6,04	409	13,8
				12:35	0,9	-98	6,08	402	13,7
				12:40	1	-99	6,01	411	13,6
				12:42	1,1	-102	6,09	412	13,6
10.1*	2,05-4,05	1,74	11-7-2000	15:15	1,1	-109	6,86	630	15,8
				15:20	0,4	-130	6,92	649	15,8
				15:25	0,4	-135	6,83	631	15,8
				15:30	0,4	-139	6,87	623	15,9
10.2	8,26-10,26	1,67	11-7-2000	15:45	2,6	-162	7,22	186	14,5
				15:50	1,1	-175	7,05	179	13,5
				15:55	0,8	-182	7,03	175	13,1
				16:00	0,5	-189	7,04	178	13,1
				16:05	0,4	-193	7,02	191	13

* 'verkeerd' geplaatst filter



Bijlage 3: Overzicht analyseresultaten

In tabellen 1 en 2 zijn de gemeten gehalten aan verontreinigen weergegeven. Met de kleurcode is aangegeven of er sprake is van ernstige verontreiniging (Interventiewaarde overschreden - *rood*), niet-ernstige verontreiniging (gehalten tussen Streef- en Interventiewaarde - *oranje*), of dat er geen sprake is van verontreiniging (gehalten kleiner dan Streefwaarde - *groen*). Met 'X' is aangegeven dat de gemeten concentraties beneden de detectielimiet X liggen. Niet gemeten waardes zijn met '-' aangegeven.

Tabel 1: Gemeten gehalten zware metalen, aromatische verbindingen, PAKs en minerale olie

µg/l	metalen				BTEX			PAK	minerale
put	Cr	Cu	Ni	Zn	benzeen	Tolueen	Xylenen	Nafthaleen	olie
1,1	<50	9	9	<0.2	-	-	-	-	-
1,2	<50	<3	<8	10	-	-	-	-	-
2,1	<50	<3	<8	<0.2	0,6	6,1	<0.1	<0.1	384
2,2	<50	<3	<8	<0.2	<0.1	2	<0.1	<0.1	535
3,1	-	-	-	-	<0.1	0,4	<0.1	<0.1	235
3,2	-	-	-	-	<0.1	0,6	<0.1	<0.1	509
4,1	4,5	5	1,5	10	18	5	1	<0.1	95
4,2	<50	<3	23	176	7,5	0,4	<0.1	<0.1	281
4,3	-	-	-	-	0,2	0,4	<0.1	<0.1	336
5,1	-	-	-	-	4	0,6	<0.1	<0.1	588
5,2	-	-	-	-	0,2	0,5	<0.1	<0.1	744
5,3	-	-	-	-	<0.1	0,4	<0.1	<0.1	256
6,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9,1	<50	<3	<8	<0.2	-	-	-	-	-
9,2	<50	<3	<8	<0.2	-	-	-	-	-
10,1	4	<2	5	2,5	10	-	-	-	-
10,2	<50	5	<8	<0.2	-	-	-	-	-
I-waarde	30	75	75	800	30	1000	70	70	600
S-waarde	1	15	15	65	0,2	7	0,2	0,01	50

Tabel 2: Gemeten gehalten gechloreerde koolwaterstoffen

µg/l	gechloreerde koolwaterstoffen									
put	C2H3Cl Vinyl- chloride	C2H4Cl2 1,2 dichloore thaan	C2H2Cl2 1,1 dichloore theen	C2H2Cl2 trans 1,2 dichloore theen	C2H2Cl2 Cis 1,2 dichloore theen	Cis+trans	CHCl3 chloro- form	C2HCl3 Trichloor etheen	C2Cl4 Tetra- chloor- etheen	
1,1	2	<1	<1	<1	3	3	8	2	7	
1,2	<1	<1	<1	<1	3	3	<1	<1	6	
2,1	2	<1	<1	<1	646	646	29	5071	275	
2,2	<1	<1	<1	<1	11	11	8	380	1878	
3,1	<1	<1	<1	<1	117	117	<1	12	26	
3,2	<1	<1	<1	<1	3	3	8	14	799	
4,1	173	<1	<1	<1	257	257	<1	8	16	
4,2	8	<1	3	<1	431	431	<1	148	36	
4,3	<1	<1	<1	<1	26	26	<1	2	4	
5,1	8	<1	2	10	1126	1136	<1	2839	77	
5,2	16	<1	2	<1	86	86	<1	4164	1126	
5,3	<1	<1	<1	<1	56	56	<1	67	19	
6,1	14	<1	<1	1	368	369	<1	291	6	
6,2	2	<1	<1	<1	2	2	7	5	5	
6,3	3	3	<1	<1	3	3	18	10	4	
7,1	27	1	<1	<1	128	128	<1	2	6	
7,2	11	<1	<1	<1	140	140	<1	7	<1	
7,3	2	<1	<1	<1	2	2	34	2	6	
8,1	1	<1	<1	<1	2	2	5	2	6	
8,2	1	<1	<1	<1	3	3	6	2	6	
9,1	1	<1	8	<1	3	3	4	2	7	
9,2	<1	1	6	<1	2	2	6	6	5	
10,1	1	<1	<1	<1	1	1	2	7	<1	
10,2	2	<1	<1	<1	3	3	5	2	7	
I-waarde	5	400	10			20	400	500	40	
S-waarde	0,01	7	0,1			0,01	6	24	0,01	



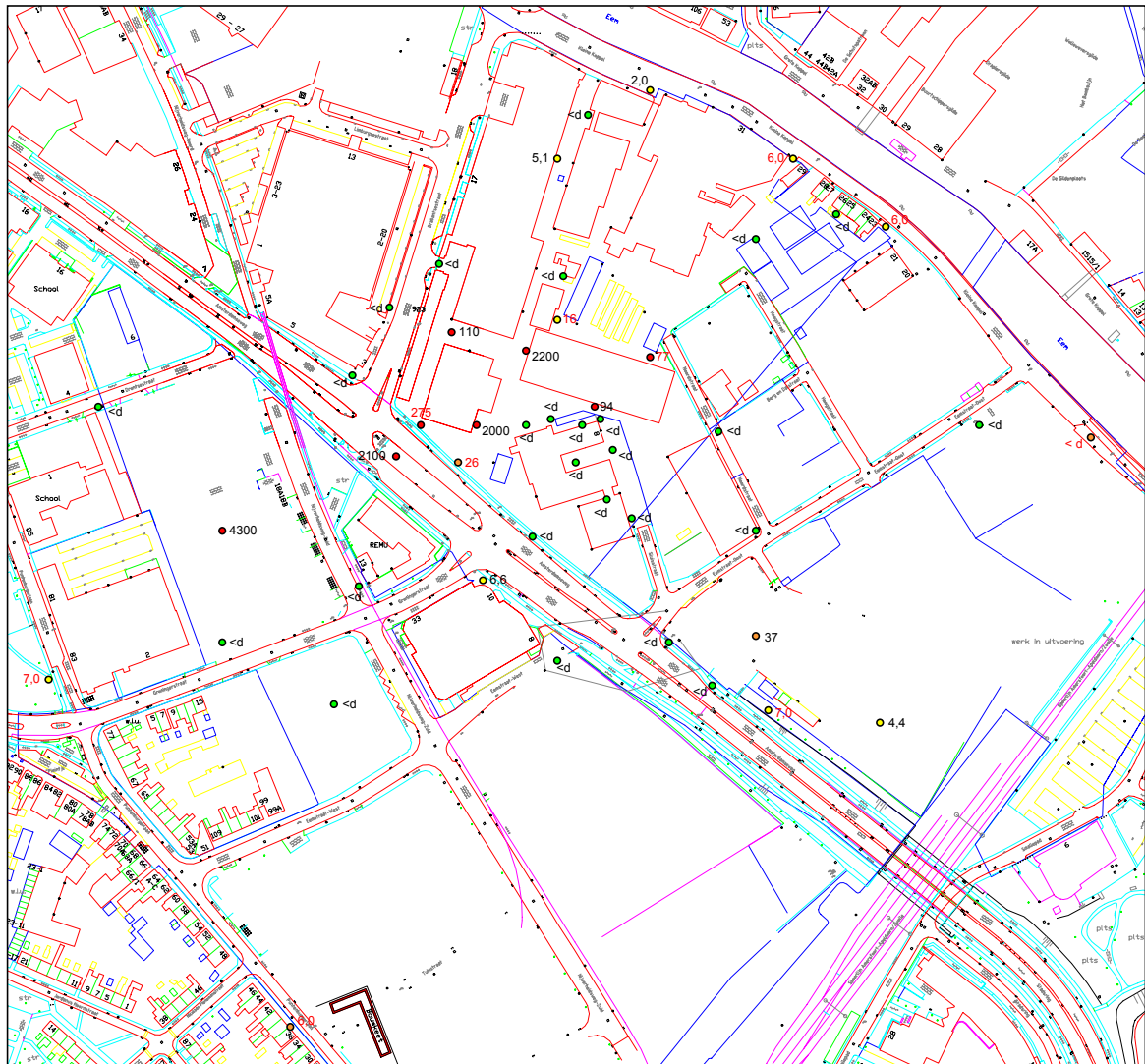
Ten behoeve van de beoordeling van potentie voor natuurlijke afbraak en het ontwerp van de waterzuivering zijn nog een aantal additionele parameters gemeten.

Tabel 3: Gemeten macroparameters

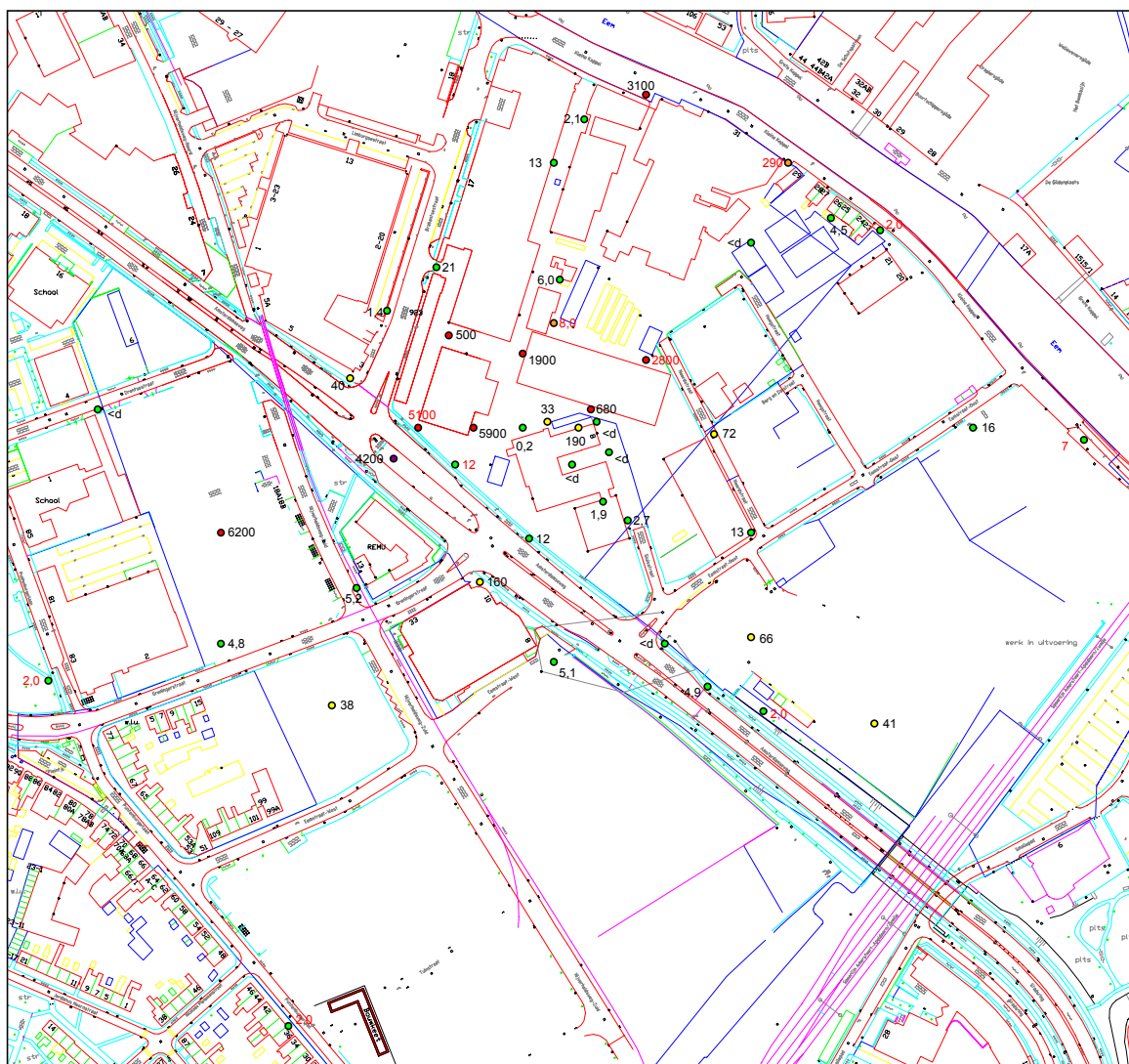
put	mg/l CH ₄	mg/l C ₂ H ₄ Etheen	mg/l Fe	mg/l Mn	mg/l Na	mg/l K	mg/l Ca	mg/l Mg	mg/l Al	mg/l NH ₄ ⁺	mg/l SO ₄ ²⁻	mg/l NO ₃ ⁻	Fe ²⁺ mg/l	S ²⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	TOC mg/l	DOC (NPR 6522) mg/l	mg/l zweven- de stof	alkaliteit mmol/l	pH
1,1	< 0,5	< 0,5	10,71	0,14	53,63	10,1	32,12	16,78	<0,04	0,96	78	<0,22	9,786	0,295	100,288	40	20	0,0188	0,925	6,188
1,2	< 0,5	< 0,5	0,24	0,01	40,7	7,17	29,69	8,67	<0,04	0,31	54	1,639	<0,1	<0,01	57,086	9,1	8,8	0,0839	1,239	6,436
2,1	< 0,5	< 0,5	2,52	0,13	32,32	7,98	28,79	4,85	<0,04	0,55	25	<0,22	<0,1	<0,01	66,14	7,8	7,8	0,0098	1,176	6,45
2,2	< 0,5	< 0,5	1,26	0,18	26,56	8,79	28,18	7,04	<0,04	1,29	50	1,196	<0,1	<0,01	39,408	4	3,9	0,0178	0,901	6,414
3,1	< 0,5	< 0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	65	28,79	4,249	0,241	88,56	-	-	-	0,696	5,977
3,2	< 0,5	< 0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	22	<0,22	<0,1	<0,01	42,168	-	-	-	0,591	5,984
4,1	1,1	< 0,5	0,45	0,27	110	11	41	18	0,22	0,00	34,5	6,44	0,4	<0,01	161,8	590	29	556	3,16	-
4,2	< 0,5	< 0,5	8,35	0,35	35,25	8,89	33,03	8,06	<0,04	3,57	64	<0,22	<0,1	<0,01	47,083	5,1	3,8	0,0035	1,314	6,594
4,3	1,4	< 0,5	3,62	0,22	17,78	3,23	44,74	2,5	<0,04	2,13	10	<0,22	<0,1	<0,01	29,06	2,5	2,1	-	2,409	7,326
5,1	< 0,5	< 0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	19	<0,22	<0,1	<0,01	80,455	-	-	-	1,142	6,385
5,2	< 0,5	< 0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	29	<0,22	<0,1	<0,01	55,016	-	-	-	1,717	6,53
5,3	1,7	< 0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	9,5	<0,22	<0,1	<0,01	40,529	-	-	-	2,974	7,223
6,1	< 0,5	< 0,5	3,48	0,54	30,5	6,06	78,58	6,17	<0,04	2,21	37	<0,22	<0,1	<0,01	39,149	5,9	5,4	-	3,934	7,202
6,2	< 0,5	< 0,5	0,93	0,07	9,8	2,63	30,2	2,7	1,3	0,77	0,77	<0,22	<0,1	<0,01	15,091	1,7	1,2	-	1,731	8,051
6,3	< 0,5	< 0,5	<0,005	0,08	9,49	3,23	29,09	1,53	<0,04	0,51	20	<0,22	<0,1	<0,01	12,159	1,2	1,1	-	1,693	8,153
7,1	< 0,5	< 0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	20	<0,22	<0,1	<0,01	72,694	-	-	-	4,937	7,069
7,2	1	< 0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	22,6	0	1,66	<0,01	24,5	-	-	-	2,36	-
7,3	< 0,5	< 0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	8,7	<0,22	<0,1	<0,01	13,452	-	-	-	1,489	8,109
8,1	< 0,5	< 0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	28	88,57	<0,1	<0,01	47,945	-	-	0,044	1,292	6,511
8,2	< 0,5	< 0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	39	97,43	<0,1	<0,01	35,7	-	-	0,0035	0,261	5,83
9,1	< 0,5	< 0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	23	21,7	<0,1	<0,01	160,737	-	-	-	4,537	6,694
9,2	< 0,5	< 0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	120	<0,22	<0,1	<0,01	49,842	-	-	-	1,196	6,412
10,1	1,1	< 0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	228,2	0,05	14,2	<0,01	27,6	-	-	155	4,75	-
10,2	< 0,5	< 0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	4,4	<0,22	2,3	<0,01	23,455	-	-	0,0046	2,08	7,158



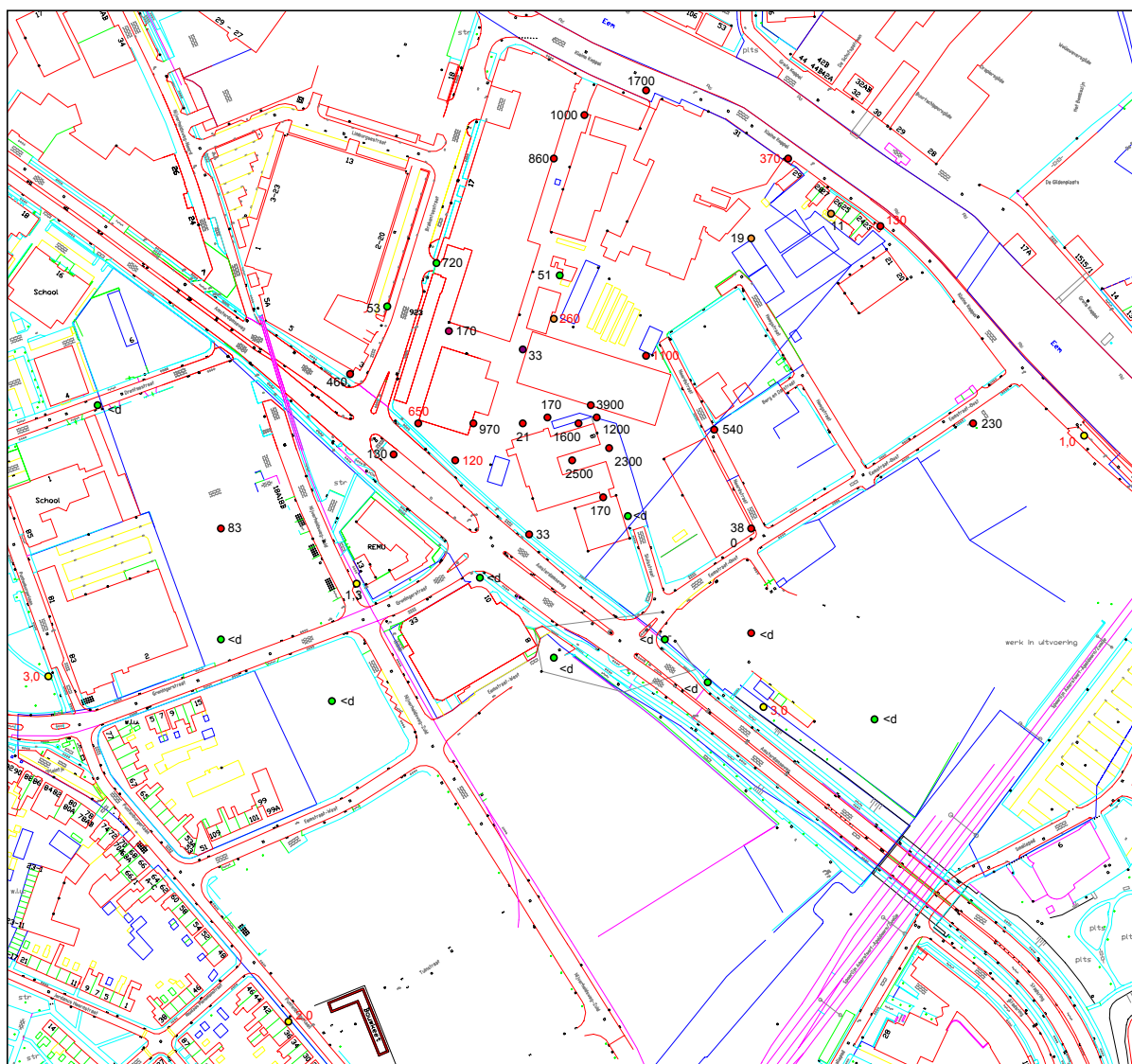
Bijlage 4: VCK-concentraties in het grondwater



Figuur 1: concentraties aan per ($\mu\text{g/l}$) in de eerste zandige laag



Figuur 2: concentraties aan tri ($\mu\text{g/l}$) in de eerste zandige laag



Actualisatie-onderzoek ijzerschermbord Amersfoort

Actualisatie-onderzoek ijzerschermbord Amersfoort

