



Energy research Centre of the Netherlands

Beoordeling percolaatgegevens van Nederlandse stortplaatsen

A. van Zomeren

R. Koper

P.F.A.B. Seignette

H. A. van der Sloot

ECN heeft dit project uitgevoerd in opdracht van de stichting Duurzaam Storten

Beoordeling percolaatgegevens

van Nederlandse stortplaatsen

Colofon

Titel	:	Beoordeling percolaatgegeven van Nederlandse stortplaatsen
Datum	:	27 april 2010
Contact	:	Stichting Duurzaam Storten, P/a Vereniging Afvalbedrijven Hugo de Grootlaan 39 Postbus 2184 5202 CD 's-HERTOGENBOSCH
E-mail adres	:	kok@verenigingafvalbedrijven.nl
Auteur(s)	:	A. van Zomeren vanzomeren@ecn.nl R. Koper koper@ecn.nl P.F.A.B. Seignette seignette@ecn.nl H. A. van der Slood hans@vandersloodconsultancy.nl
Verantwoording	:	ECN heeft dit project uitgevoerd in opdracht van de stichting Duurzaam Storten onder projectnummer 6.00047.
Abstract	:	This report describes a comparison of leachate data from Dutch landfills. The leachate data from about 80 different compartments has been gathered in a database to allow comparison of leachate concentrations.
ISBN-nummer	:	

Inhoudsopgave

Colofon	2
Inhoudsopgave	3
Samenvatting	5
1. Inleiding	7
2. Data-acquisitie en gegevensverwerking	9
3. Resultaten en discussie	11
3.1 Monitoringgegevens	11
3.2 Relatie COD en DOC	11
3.3 Afbraak organische stof	12
3.4 Vergelijking van data met internationale gegevens	14
3.5 Vergelijking van concentraties in percolaatwater met modelleringsresultaten	18
3.6 Vergelijking van concentraties in percolaatwater met acceptatiecriteria	20
4. Conclusies en aanbevelingen	27
5. Referenties	31

Lijst van figuren

Figuur 3.1 Relatie tussen DOC- en COD-concentraties in percolaatwater van stortplaatsen (n=225).....	12
Figuur 3.2 log COD-concentraties (ppm) als functie van tijd. In de figuur zijn data opgenomen van verschillende projecten (pilot- en fullscale) over het afgelopen decennium.	13
Figuur 3.3 Ontwikkeling van COD als functie van tijd in vier verschillende compartimenten op stortplaats Nauerna. De horizontale rode lijn geeft de C ₀ -limietwaarde uit Bijlage II weer (acceptatie van inert afval).	14
Figuur 3.4 Ontwikkeling van log COD-concentraties als functie van tijd. De open cirkels zijn de gegevens van de Nederlandse stortplaatsen (n=1781), de rode vierkantjes geven de data weer van Duitse stortplaatsen (gedigitaliseerd uit 9).	15
Figuur 3.5 Extrapolatie van log COD-concentraties als functie van tijd. De blauwe lijn in de grafiek geeft een indicatie van een mogelijke worst case situatie voor de COD-ontwikkeling.	16
Figuur 3.6 Ontwikkeling van log Cl ⁻ -concentraties als functie van tijd. De open cirkels zijn de gegevens van de Nederlandse stortplaatsen (n=861), de	

	rode vierkantjes geven de data weer van Duitse stortplaatsen (gedigitaliseerd uit 9).	17
Figuur 3.7	Extrapolatie van log Cl^- -concentraties als functie van tijd. De blauwe lijn in de grafiek geeft een indicatie van een mogelijke worst case-situatie voor de Cl^- ontwikkeling.	17
Figuur 3.8	Ontwikkeling van log NH_4^+/N -concentraties als functie van tijd. De open cirkels zijn de gegevens van de Nederlandse stortplaatsen (n=548), de rode vierkantjes geven de data weer van Duitse stortplaatsen (gedigitaliseerd uit 9).	18
Figuur 3.9	Concentratie van Cr, DOC, Pb en Zn als functie van pH. De datapunten zijn de gemeten concentraties in percolaatwater. De doorgetrokken lijnen zijn de gemodelleerde concentraties (groen: vers huisvuil, blauw: overwegend anorganisch afval) bij een L/S-verhouding van 10 l/kg. De onderbroken lijnen geven dezelfde informatie weer berekend bij een L/S-verhouding van 0,1 l/kg.	20
Figuur 3.10	Concentraties van As, Ba, Cd, Cl^- , Cr en Cu in percolaatwater van Nederlandse stortplaatsen (in ppb) als functie van de DOC-concentratie (ppm). De horizontale (metalen en zouten) en verticale (DOC) lijnen in de grafieken geven de C_0 -limietconcentraties weer uit Bijlage II voor acceptatie van afval op een stortplaats voor ongevaarlijk (doorgetrokken lijn) en inert (onderbroken lijn) afval.	24
Figuur 3.11	Concentraties van Hg, Mo, Ni, Pb, Sb en Se (ppb) in percolaatwater van Nederlandse stortplaatsen als functie van de DOC-concentratie (ppm). De horizontale (metalen en zouten) en verticale (DOC) lijnen in de grafieken geven de C_0 -limietconcentraties weer uit Bijlage II voor acceptatie van afval op een stortplaats voor ongevaarlijk (doorgetrokken lijn) en inert (onderbroken lijn) afval.	25
Figuur 3.12	Concentraties van Zn, F, SO_4^{2-} en phenol index (ppb) in percolaatwater van Nederlandse stortplaatsen als functie van de DOC-concentratie (ppm). De horizontale (metalen en zouten) en verticale (DOC) lijnen in de grafieken geven de C_0 -limietconcentraties weer uit Bijlage II voor acceptatie van afval op een stortplaats voor ongevaarlijk (doorgetrokken lijn) en inert (onderbroken lijn) afval.	26

Samenvatting

De stichting Duurzaam Storten heeft ECN opdracht gegeven om monitoringgegevens van Nederlandse stortplaatsen te verzamelen en om deze datasets te importeren in de LeachXStm-database. Door vergelijking van alle percolaatgegevens in de database kan een referentiekader worden gegeven van de vastgestelde concentraties van verontreinigingen.

In dit project zijn in totaal 2874 metingen van percolaatwater samenstellingen verzameld en in de LeachXS-database gezet. Elke meting bevatte een wisselende hoeveelheid aan analyse-resultaten. In totaal zijn 210 verschillende parameters gemeten in de gehele dataset. Dit leverde 46171 analyseresultaten variërend van macroparameters, zware metalen, hoofd-elementen, zouten en organische microverontreinigingen.

De concentraties van verontreinigingen in het percolaatwater van Nederlandse stortplaatsen vertonen een zeer grote variatie. Deze variatie kan bijvoorbeeld worden veroorzaakt door verschillen in pH, DOC-gehalte (dissolved organic carbon), afvalsamenstelling, redoxpotentiaal of ouderdom van het afval. Daarnaast kunnen de lokale omstandigheden op het moment van monsternamen ook een grote invloed hebben op de percolaatwaterkwaliteit. Dit is een belangrijk gegeven bij de interpretatie van deze gegevens en bij het vaststellen van het referentiekader voor de toekomstige verduurzamingspilots.

De resultaten van de percolaatgegevens laten zien dat ongeveer 75% van de gegevens afkomstig zijn van stortplaats Nauerna. Uit analyse van de gegevens kan worden geconcludeerd dat de componenten $\text{NH}_4^+\text{-N}$, Cr en Ni overwegend een lagere concentratie hebben in het percolaatwater van Nauerna ten opzichte van de gemiddelde concentraties van de andere stortplaatsen. Deze afwijkingen beïnvloeden de conclusies over deze elementen echter niet. De concentraties van de overige elementen van stortplaats Nauerna hebben grofweg dezelfde bandbreedte als de rest van de percolaatgegevens.

De afbraak van organische stof is een van de belangrijkste parameters om de (chemische) stabiliteit van de stortplaats te bepalen. COD (chemical oxygen demand) is een veel gemeten parameter die indicatief is voor de stabiliteit van een stortplaats.

De COD-concentraties (als log COD) nemen af als functie van tijd. De resultaten van de Nederlandse stortplaatsen komen ook redelijk overeen met een Duits onderzoek. Hierbij wordt opgemerkt dat de spreiding in de meetgegevens in beide studies groot is. De resultaten van de vergelijking tonen aan dat de afbraaksnelheid van organische stof in percolaatwater van Nederlandse en de Duitse stortplaatsen ongeveer gelijk is. Hierbij wordt wel opgemerkt dat de correlatiecoëfficiënt van de regressie laag is en dat daarom een forse onnauwkeurigheid te verwachten is in de voorspellingskracht van deze relatie. Dit in beschouwing nemende geeft de regressielijn aan dat een Nederlandse stortplaats na ongeveer 15-70 jaar op een acceptabele COD-concentratie (omgerekend naar DOC) zou uitkomen volgens de acceptatiecriteria (C_0 concentraties) voor afval op een stortplaats voor inert afval (Europese richtlijn Storten). Deze gegevens lijken erop te wijzen dat de COD-concentraties in percolaatwater van Nederlandse stortplaatsen binnen een tot drie generaties afgenomen zijn tot acceptabele waarden (op basis van de aanvaardbare emissies op een stortplaats voor inert afval).

Ook voor de Cl^- -concentraties als functie van tijd geldt dat de spreiding in resultaten zeer groot is. De gemeten concentraties komen wel goed overeen met de waarnemingen (en de spreiding hierin) bij Duitse stortplaatsen. Chloride wordt niet afgebroken in de stortplaats maar de concentraties nemen in de loop van de tijd via uitspoeling af. Voor chloride wordt vastgesteld dat de gemeten concentraties in bijna alle gevallen lager zijn dan de limietconcentratie voor acceptatie van afval op een stortplaats voor ongevaarlijk afval (ongevaarlijke afvalstoffen die in dezelfde cel worden aanvaard als stabiele, niet-reactieve gevaarlijke afvalstoffen). Voor zover in het geval van chloride gesproken kan worden over een trend (statistische significantie is erg laag), lijkt de Cl^- -concentratie na ongeveer 25-60 jaar te voldoen aan de normen voor een stortplaats voor inert afval. Deze gegevens lijken erop te wijzen dat de Cl^- -concentraties in percolaatwater van Nederlandse stortplaatsen binnen één tot drie generaties afgenomen zijn tot acceptabele waarden op basis van acceptatiecriteria (C_0 concentraties) voor acceptatie van afval op een stortplaats voor inert afval (Europese richtlijn Storten).

Wanneer de concentraties van de verontreinigingen in percolaatwater worden vergeleken met limietconcentraties dan blijkt dat deze doorgaans lager zijn dan de limietconcentraties voor acceptatie van afval op een stortplaats voor *ongevaarlijk* afval (ongevaarlijke afvalstoffen die in dezelfde cel worden aanvaard als stabiele, niet-reactieve gevaarlijke afvalstoffen), met uitzondering van DOC. De concentraties van As (38% van de gegevens), Cr (15% van de gegevens) en Ni (13% van de gegevens) zijn regelmatig hoger dan de concentratielimiet voor acceptatie van afval op een stortplaats voor *inert* afval. De resultaten geven aan dat de overschrijdingen van limietconcentraties voor Cr en Ni (bijna) altijd samenhangen met hoge DOC-concentraties (hoger dan de DOC-limietconcentraties voor ongevaarlijk afval). De concentraties van Cl^- overschrijden de limietconcentraties in de meeste gevallen (84% van de gegevens). Voor Cl^- zal de concentratie in de loop van de tijd afnemen door uitspoeling. Wanneer de DOC-concentraties lager zijn dan de limietconcentraties voor acceptatie van afval op een stortplaats voor inert afval lijken de concentraties van de meeste verontreinigingen ook lager te zijn dan de limietconcentraties.

Het samenbrengen van de data van verschillende Nederlandse stortplaatsen biedt ook een basis voor het creëren van de beoordelingssystematiek om de haalbaarheid van de aanvaardbare emissies te toetsen. De database met percolaatwater gegevens kan hierbij dienen als een soort referentiekader.

De resultaten van deze studie laten duidelijk zien dat grote verschillen in concentraties kunnen bestaan, zelfs binnen een compartiment. Dit wijst op het belang van de verzameling van langdurige monitoringgegevens (inclusief pH, DOC, Eh, L/S verhouding) van stortplaatsen. De resultaten uit dit onderzoek onderstrepen ook de noodzaak om voorafgaand aan de verduurzamingspilots een dataset opgebouwd te hebben met veel gegevens over de percolaatwatersamenstelling, waarbij alle relevante elementen worden geanalyseerd. Naast analyses van de elementen die voor regelgeving relevant zijn is het ook nuttig om andere hoofd- en sporenelementen te gaan/blijven monitoren. Een aantal stoffen is bijvoorbeeld al gereguleerd in het Besluit Bodemkwaliteit en/of in de regeling $C_{\text{geconditioneerd}}$: Br^- , Co, Sn, V, W, cyaniden. Deze gegevens kunnen op enig moment belangrijk worden, bijvoorbeeld voor het aantonen van een duurzame situatie in de stortplaats en bij toekomstige revisies van Bijlage II van de Europese richtlijn Storten.

1. Inleiding

ECN werkt in het kader van het project Duurzaam Storten aan de ontwikkeling en toetsing van nieuwe stortconcepten. In 2006 is de eerste fase van het project Duurzaam storten afgerond. In de tweede fase van het project (2006-2010) wordt kennis samengebracht uit verschillende gebieden om te zoeken naar mogelijkheden om bestaande stortplaatsen te verduurzamen. Tevens is een haalbaarheidsstudie uitgevoerd naar twee nieuwe pilotproeven en is gestart om het toetsingskader te ontwikkelen. De stichting Duurzaam Storten heeft ECN opdracht gegeven om monitoringgegevens van Nederlandse stortplaatsen te verzamelen en om deze datasets te importeren in de LeachXStm-database. De gegevens zijn door de exploitanten aangeleverd op voorwaarde dat de data anoniem gepresenteerd zou worden. In het rapport worden daarom alleen de stortplaatsen vermeld die aan het project hebben meegewerkt. Verdere details over afvalsamenstelling, compartimenten en leeftijden worden uitdrukkelijk niet genoemd in deze rapportage. In een specifiek geval is met toestemming afgeweken van de absolute anonimiteit van de gegevens (stortplaats Nauerna).

Het doel van dit project is om een basis te vormen voor de beoordeling van de status van stortplaatsen met betrekking tot de duurzaamheid. Daarnaast is het doel om de range in waargenomen concentraties in kaart te brengen. De gemeten concentraties worden vervolgens beoordeeld in het kader van de Europese richtlijn storten.

De vergelijking van alle data onderling geeft een referentiekader voor de stortplaatsen die in beschouwing worden genomen. Door vergelijking van alle percolaatgegevens in de database kan een referentiekader worden gegeven van de vastgestelde concentraties van verontreinigingen. Voor het vaststellen van de duurzaamheid van de stortplaatsen in dit nieuwe onderzoek is ook de vergelijking met resultaten van laboratoriumtesten, lysimeterproeven en veldgegevens uit de eerste fase van duurzaam storten (equistort, monolith en bioreactor) belangrijk. In deze studie wordt geen geochemische modellering op de gegevens uitgevoerd. In de interpretatie en bij het in kader plaatsen van de gegevens wordt wel gebruikt gemaakt van de chemische kennis uit het eerdere duurzaam storten project.

2. Data-acquisitie en gegevensverwerking

In dit project zijn dataserieën verwerkt van in totaal bijna 80 verschillende compartimenten afkomstig van elf verschillende stortplaatsen. De exploitanten hebben gegevens aangeleverd in Excel-spreadsheets. De spreadsheets zijn bij ECN geconverteerd naar het gewenste database formaat. Wanneer concentraties gerapporteerd waren als “kleiner dan”, is de helft van de detectielimiet genomen als gemeten concentratie*. In iets minder dan de helft van de metingen was de pH niet gerapporteerd; in dat geval is voor invoer in de database aangenomen dat de pH 7 was. Het is namelijk niet mogelijk om gegevens in te voeren zonder een pH waarde omdat de pH een zeer belangrijke parameter is voor de karakterisering van het percolaatwater en bij interpretatie van analysegegevens. Voor de herkenbaarheid van deze aanname in de gegevens is gekozen om een afgerond getal te hanteren. In de database is bij de betreffende monsters een opmerking geplaatst dat de pH niet gemeten is. De geconverteerde Excel spreadsheets zijn tenslotte geïmporteerd in de LeachXS database. In de database zijn vervolgens queries gemaakt om alle gegevens geordend te kunnen weergeven.

Bij de interpretatie van de meetgegevens is gekozen om de concentraties in het percolaatwater te toetsen aan de C_0 -limietconcentraties uit bijlage II bij de Europese richtlijn storten (kortweg Bijlage II) voor acceptatie van afvalstoffen op een stortplaats voor inert en ongevaarlijk afval (ongevaarlijke afvalstoffen die in dezelfde cel worden aanvaard als stabiele, niet-reactieve gevaarlijke afvalstoffen). De keuze voor deze basis voor vergelijking is zowel inhoudelijk als pragmatisch. Bij een stortplaats voor inert afval zijn niet of nauwelijks voorzieningen nodig en daaruit kan worden afgeleid dat de emissies uit een stortplaats voor inert afval als aanvaardbaar beschouwd mogen worden. Voor wat betreft de keuze voor toetsing aan de C_0 -limietconcentraties, is het in de meeste gevallen onmogelijk om de percolaatgegevens om te rekenen naar een cumulatieve emissie bij $L/S=10$ omdat deze L/S nog niet bereikt is in de stortplaatsen (de emissielimieten in Bijlage II zijn hierop gebaseerd). Bijlage II beschrijft limietconcentraties voor de eerste fractie van de kolomtest (NEN 7373) bij $L/S=0.1$. Hoewel de ontwikkelde L/S -ratio in de stortplaatsen onbekend is, kan worden aangenomen dat deze in de range van 0,1-1 l/kg zal zijn. Overigens, wanneer er wel gegevens beschikbaar zouden zijn van de concentraties als functie van de L/S ratio (tot $L/S=10$) dan zou de beoordeling van de percolaatconcentraties in principe niet soepeler of strenger worden afhankelijk van de keuze om te vergelijken met C_0 concentraties (bij $L/S=0.1$), emissies bij $L/S=2$ of emissies bij $L/S=10$. Bij de vaststelling van de criteria zijn de berekende $L/S=10$ criteria teruggerekend naar $L/S=2$ en naar C_0 met een generieke kappawaarde per element (“afnamecoëfficiënt”) en daarmee ligt de verhouding tussen deze criteria vast. Om deze reden is het redelijk om de concentraties in percolaatwater (mg/L) te vergelijken met de C_0 -limietconcentraties.

Hierbij wordt opgemerkt dat alle limietconcentraties en emissielimieten in Bijlage II gebaseerd zijn op individuele materialen ter acceptatie op een stortplaats. Het is belangrijk om te

* Het is voor de verwerking van gegevens vereist dat de metingen als getalswaarde ingevoerd zijn. Voor getallen die als “kleiner dan” gerapporteerd zijn is eigenlijk geen goede waarde bekend. Om die reden is aangenomen dat de werkelijke concentratie ligt tussen de detectielimiet en nul, vandaar dat het gemiddelde van deze getallen gebruikt is in deze gevallen.

realiseren dat de limietwaarden voor acceptatie (op basis van een laboratoriumproef) in dit onderzoek gebruikt worden om de concentraties in het percolaatwater van de gehele stortplaats (mengsel van allerlei materialen in een praktijksituatie) te beoordelen. In de eerste fase van Duurzaam Storten is al aangegeven dat afvalmaterialen interactie met elkaar aangaan en dat de beoordeling van afvalmaterialen eigenlijk zou moeten plaatsvinden op het niveau van de gehele stortplaats (1, 2). Dit is echter niet de huidige praktijk in de beoordeling van stortplaatsen. De vergelijking van percolaatgegevens met limietconcentraties is daarom in eerste instantie bedoeld om een beeld te krijgen van de range in gemeten concentraties in relatie tot de mate waarin verontreinigingen in percolaatwater in meer of mindere mate lager zijn dan de C_0 -limietconcentraties.

3. Resultaten en discussie

3.1 Monitoringgegevens

De percolaatgegevens die in deze studie gebruikt zijn, zijn afkomstig van de volgende stortplaatsen: Braambergen, Delta Milieu, Kragge, Landgraaf, Nauerna, Twence, Attero Wijster, VAR, Vlagheide en Wieringermeer. De hoeveelheid aangeleverde metingen is substantieel, totaal zijn 2.883 metingen in de database gezet. Elke meting bevat een wisselende hoeveelheid aan analyseresultaten. In totaal zijn 210 verschillende parameters in de dataset opgenomen. Dit leverde 46.171 analyseresultaten variërend van macroparameters, zware metalen, hoofdelementen, zouten en organische microverontreinigingen.

Een eerste analyse van de gegevens heeft laten zien dat de dataset gedomineerd wordt door de gegevens van stortplaats Nauerna. Ongeveer 75% van de gegevens die in de resultaten worden gepresenteerd zijn afkomstig van stortplaats Nauerna. Er is daarom ook vastgesteld of de dataset van Nauerna een onevenredige invloed heeft op het beeld van de bandbreedte en de gemiddelde concentraties van de totale dataset. Uit deze analyse kan worden geconcludeerd dat de componenten $\text{NH}_4^+\text{-N}$, Cr en Ni overwegend een lagere concentratie hebben in het percolaatwater van Nauerna ten opzichte van de gemiddelde concentraties van de andere stortplaatsen. De concentraties van de overige elementen van stortplaats Nauerna hebben grofweg dezelfde bandbreedte als de rest van de percolaatgegevens.

3.2 Relatie COD en DOC

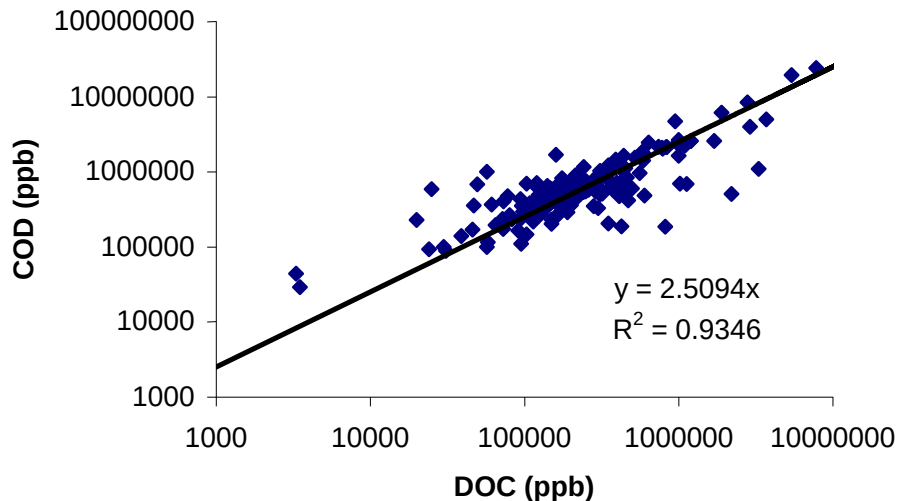
Om deze omvangrijke set aan gegevens te interpreteren is gekozen om in dit project vooral aandacht te besteden aan parameters die van belang zijn bij de afbraak van organische stof en voor parameters die relevant zijn voor (Bijlage II bij) de Europese richtlijn storten (3).

COD (chemical oxygen demand) is een veel gemeten parameter die indicatief is voor de stabiliteit van een stortplaats. In eerder onderzoek is ook vastgesteld dat COD een relatie heeft met de concentratie van metalen in percolaatwater (4). Vanuit de literatuur is ook bekend dat organische stof sterke complexen kan vormen met zware metalen (5, 6). Omdat DOC (dissolved organic carbon) zware metalen kan complexeren geeft deze parameter mogelijk ook aan wanneer de risico's van overschrijding van drempelwaarden in een stortplaats laag worden. In de praktijk zijn zeer veel COD-resultaten voorhanden, echter veel minder DOC-concentraties. Zowel DOC als COD zijn zogenaamde somparameters die de totale concentratie opgelost organisch koolstof (of oxideerbaar koolstof) weergeven.

De analyse van COD is gebaseerd op een benodigde hoeveelheid zuurstof om het organische materiaal te oxideren. De concentratie COD heeft een sterke relatie met de concentratie DOC (zie Figuur 3.1). De gevonden richtingscoëfficiënt komt vrij goed overeen met een eerder vastgestelde relatie (richtingscoëfficiënt was 3.1) tussen DOC en COD in percolaatwater van een bioreactor pilotproef (7). Met de vastgestelde relatie kan COD worden omgerekend naar DOC en kan de berekende DOC-waarde weer getoetst worden aan de C_0 -limietwaarde (inert afval in Bijlage II). De berekende relatie tussen COD en DOC uit Figuur 3.1 is gebaseerd op alle aangeleverde percolaatgegevens waarvoor geldt dat zowel COD als DOC is gemeten

(n=225). Deze relatie wordt in dit rapport gebruikt om zonodig COD-concentraties om te rekenen naar DOC-concentraties.

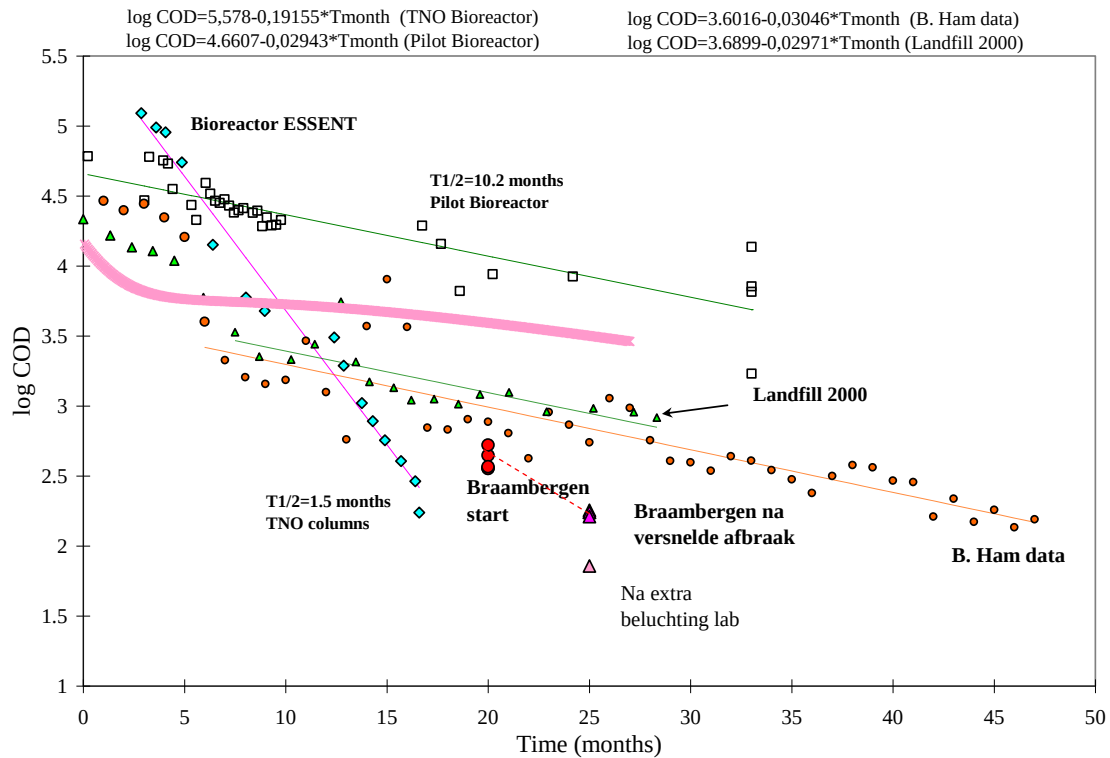
Er zullen naar verwachting alleen relatief grote verschillen ontstaan in gevallen waarbij een groot gedeelte van de organische stof (DOC) bestaat uit verbindingen die in de COD-bepaling niet worden geoxideerd. Naar verwachting is dit bij de meeste stortplaatsen niet het geval.



Figuur 3.1 Relatie tussen DOC- en COD-concentraties in percolaatwater van stortplaatsen (n=225).

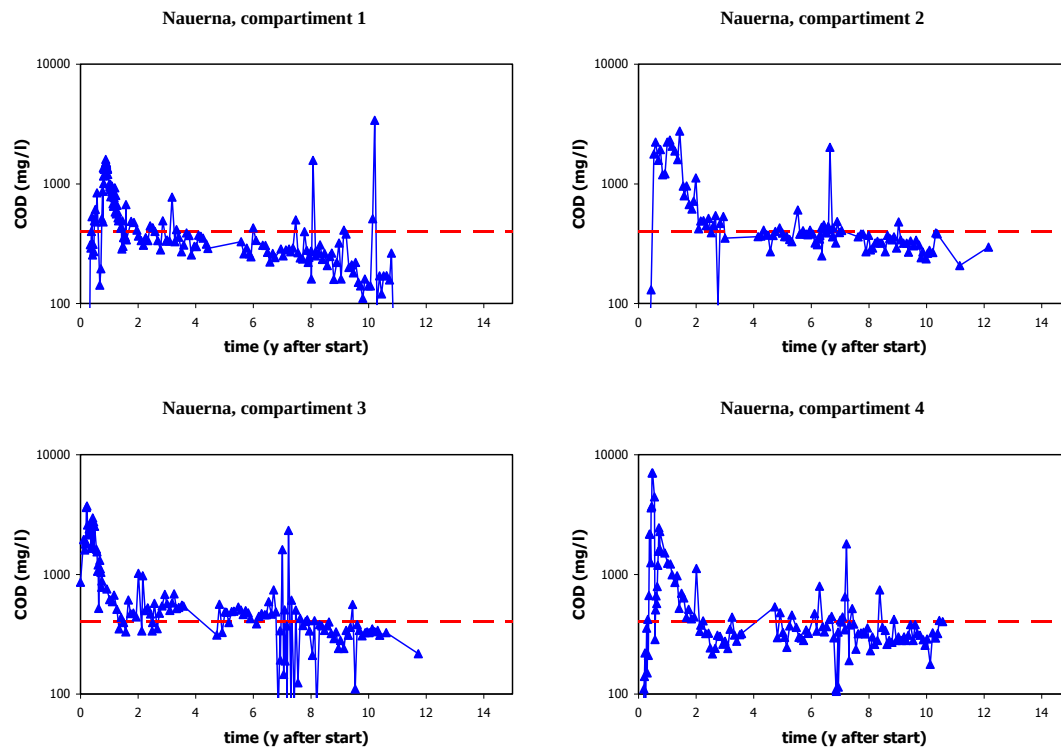
3.3 Afbraak organische stof

De afbraak van organische stof is een van de belangrijkste parameters om de (chemische) stabiliteit van de stortplaats te bepalen. Een veel gemeten parameter hiervoor is COD. Eerder werk (4, 8) (bioreactor, Landfill2000, proeven Bob Ham) laten zien dat COD duidelijk afneemt als functie van tijd. Deze data zijn samengevat in Figuur 3.2. De data tonen dat bij afbraak twee afbraaksnelheden te onderscheiden zijn: een snelle afbraak die ongeveer een jaar duurt (zie ook bioreactor Essent data) en een langzame afbraak die vele jaren duurt (data Bob Ham en Landfill 2000 geven hiervan indicatie). Deze dataserie is echter qua tijd nog relatief beperkt, namelijk maximaal 4 jaar.



Figuur 3.2 log COD-concentraties (ppm) als functie van tijd. In de figuur zijn data opgenomen van verschillende projecten (pilot- en fullscale) over het afgelopen decennium.

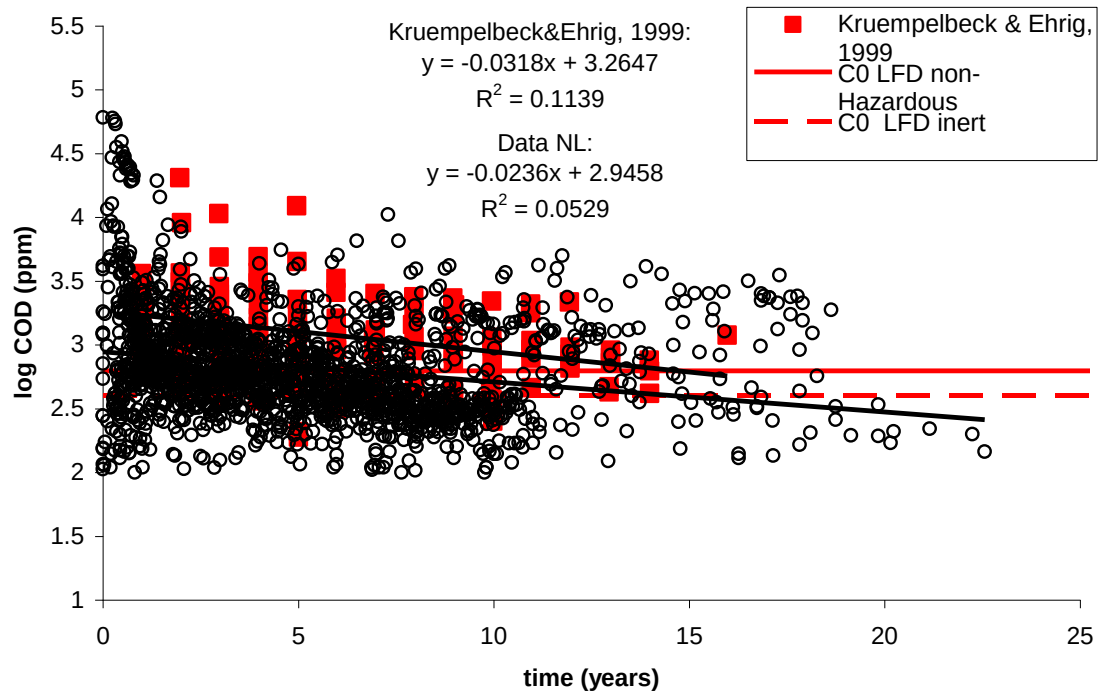
Analyse van de Nauerna-dataset (zeer uitgebreide data beschikbaar) laat zien dat er een consistent patroon is te ontdekken in de ontwikkeling van COD als functie van de tijd (zie Figuur 3.3). Bij de start van het vullen van het betreffende compartiment is COD nog laag; daarna neemt COD snel toe tot een maximum. Vanaf het maximum verloopt de afbraak eerst snel en vervolgens traag. Dit beeld is zeer consistent voor deze vier compartimenten. Voor de overige compartimenten op Nauerna is dit beeld iets minder duidelijk, waarschijnlijk vooral omdat minder data beschikbaar is. De gegevens laten zien dat de COD-concentraties in percolaatwater van de overige compartimenten in ongeveer 10 jaar met een factor 5-10 afnemen tot waarden rondom de limietwaarde voor acceptatie van afval op een stortplaats voor inert afval (C_0 -concentratie uit Bijlage II).



Figuur 3.3 Ontwikkeling van COD als functie van tijd in vier verschillende compartimenten op stortplaats Nauerna. De horizontale rode lijn geeft de C_0 -limietwaarde uit Bijlage II weer (acceptatie van inert afval).

3.4 Vergelijking van data met internationale gegevens

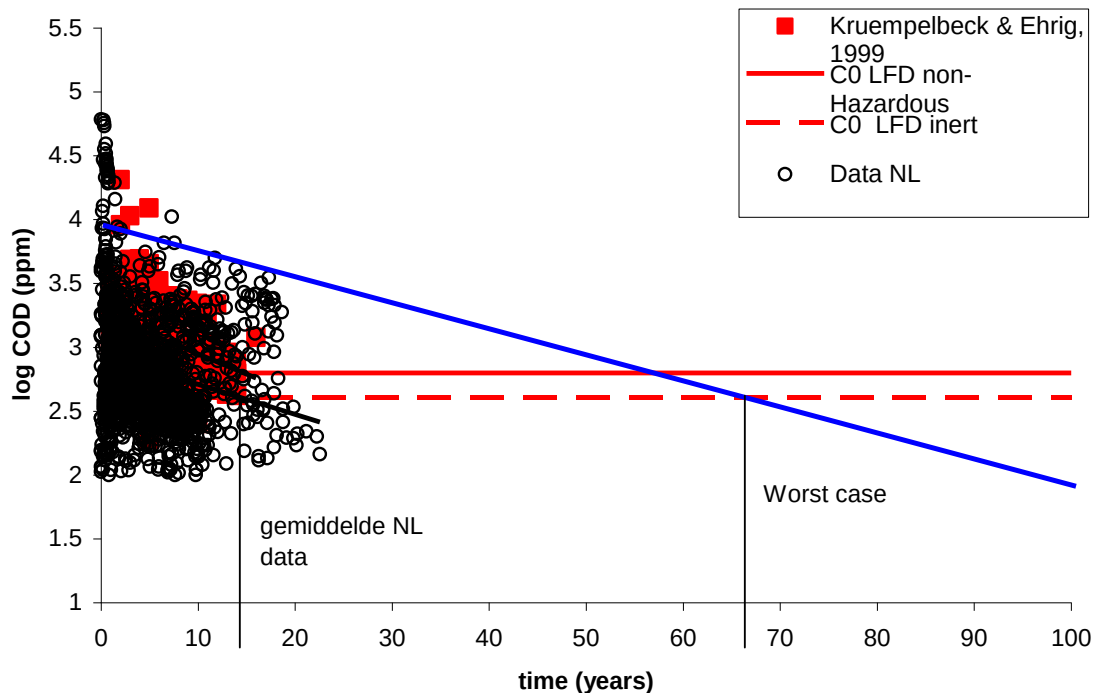
In Figuur 3.4 zijn alle COD-resultaten (als log COD) van stortplaats gegevens uit Nederland uitgezet als functie van de tijd ($n=1955$). Ter referentie is ook een uitgebreide Duitse dataset opgenomen (9). In de totale dataset van de Nederlandse stortplaatsen zaten 82 meetgegevens waarbij log COD kleiner was dan 2. Aangenomen wordt dat deze gegevens fout zijn, hiervoor kunnen de volgende redenen een rol spelen. Wellicht is de afwijking deels te verklaren door monsternamen tijdens of vlak na hevige regenbuien. Een andere mogelijkheid is dat de COD "piek" nog niet bereikt is (zie Figuur 3.3) en/of de stortplaats nog in opbouw is, waardoor grote variaties in COD-concentraties gevonden zouden kunnen worden. De meetwaarden <2 zijn om deze redenen uit de resultaten verwijderd.



Figuur 3.4 Ontwikkeling van log COD-concentraties als functie van tijd. De open cirkels zijn de gegevens van de Nederlandse stortplaatsen (n=1781), de rode vierkantjes geven de data weer van Duitse stortplaatsen (*gedigitaliseerd uit 9*).

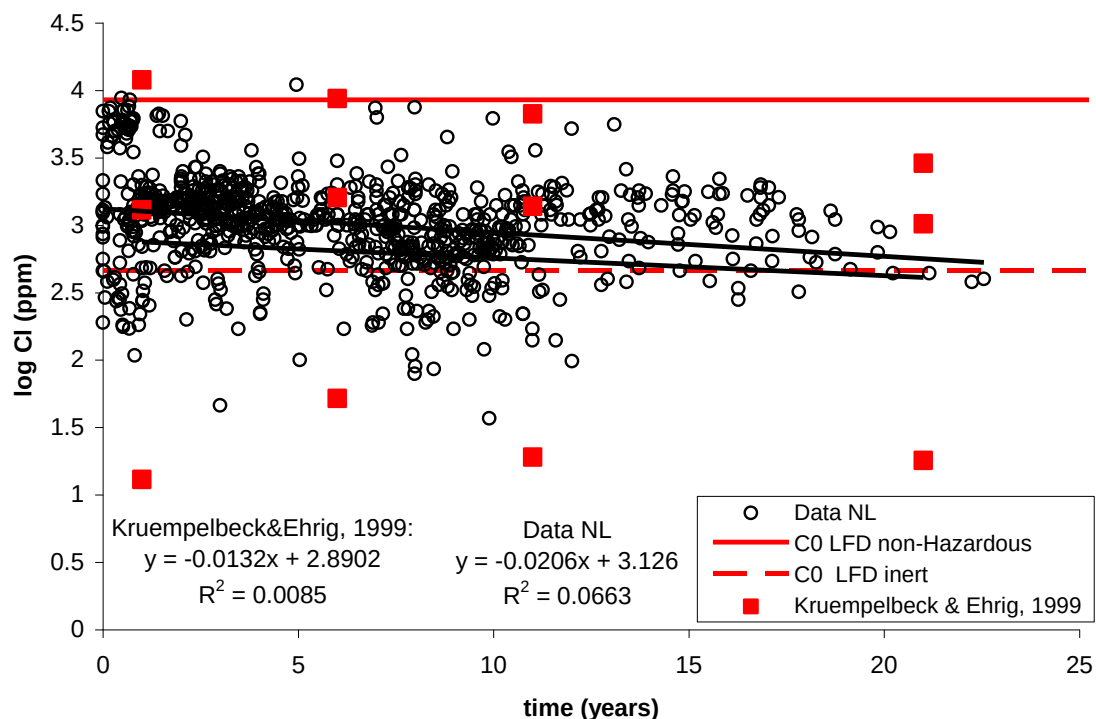
Alhoewel de spreiding in de meetgegevens groot is, geven verschillende datasets consistente resultaten. De gemeten concentraties komen redelijk overeen met de Duitse gegevens. Daarnaast zijn de richtingscoëfficiënten van de afbraakcurven (Nederlandse en Duitse gegevens) vrijwel gelijk. Zij komen ook redelijk overeen met eerdere studies (zie Figuur 3.2). Dit betekent dat de afbraaksnelheid van organische stof ongeveer gelijk is. Hierbij wordt wel opgemerkt dat de correlatiecoëfficiënt van de regressie laag is en dat daarom een forse onnauwkeurigheid te verwachten is in de voorspellingskracht van deze relatie. In Bijlage II staat alleen een criterium voor DOC. Om deze reden is de DOC-limietconcentratie ter vergelijking omgerekend aan de hand van Figuur 3.1 naar een equivalente COD-concentratie. Voorgaande in beschouwing nemende geeft de regressielijn aan dat een Nederlandse stortplaats na ongeveer 15 jaar op een acceptabele COD-waarde zou uitkomen (inert afval). De Duitse data geven aan dat de COD-waarden na ongeveer 20 jaar zouden voldoen aan de C_0 -limietconcentraties uit Bijlage II voor acceptatie van afval op een stortplaats voor inert afval.

De spreiding in de meetgegevens is groot en daarom zal de inschatting van acceptabele COD-concentraties na 15-20 jaar ook een grote onzekerheid hebben. In Figuur 3.5 is een extrapolatie gemaakt van de COD-concentraties als functie van tijd op basis van de hoogst gemeten COD-concentraties. Deze worst case-schatting laat zien dat de COD-concentraties na ongeveer 60-70 jaar lager worden dan de C_0 -limietwaarden uit Bijlage II (op basis van omgerekende DOC-concentraties). Deze gegevens lijken erop te wijzen dat de COD-concentraties in percolaatwater van Nederlandse stortplaatsen binnen één tot drie generaties afgenomen is tot acceptabele waarden (op basis van acceptatiecriteria voor inert afval).

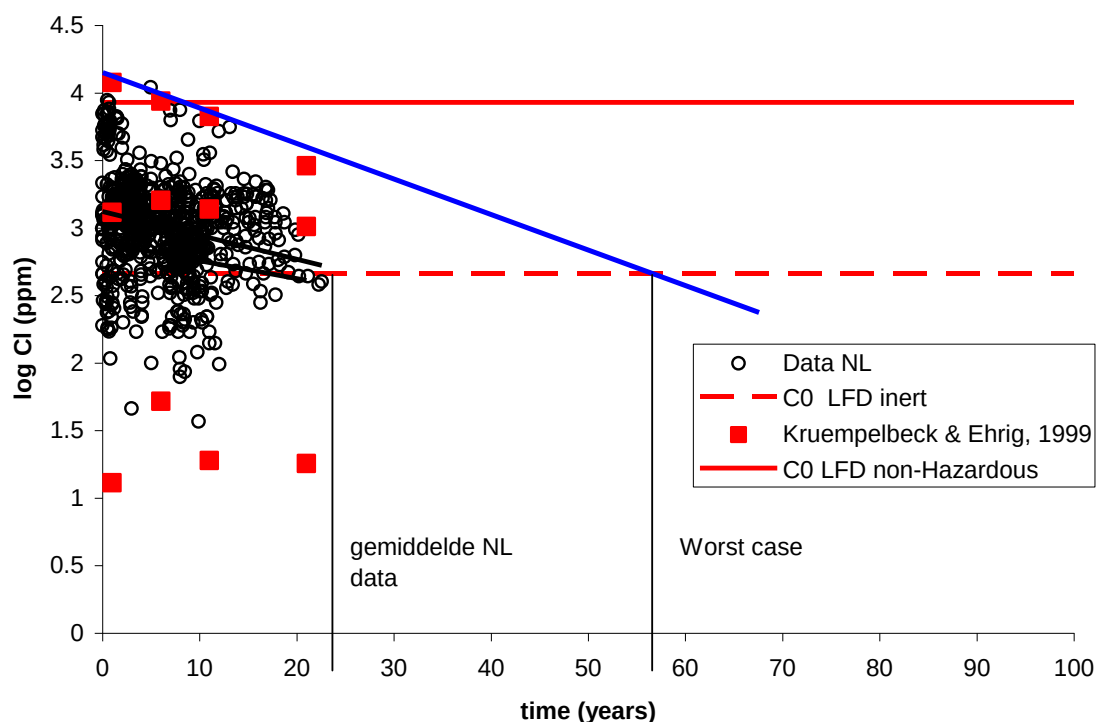


Figuur 3.5 Extrapolatie van log COD-concentraties als functie van tijd. De blauwe lijn in de grafiek geeft een indicatie van een mogelijke worst case situatie voor de COD-ontwikkeling.

De ontwikkeling van de Cl^- -concentraties als functie van tijd voor Nederlandse stortplaatsen staan in Figuur 3.6 ($n=861$). Ter referentie zijn ook de resultaten uit de Duitse studie opgenomen (9). Ook voor chloride geldt dat de spreiding in resultaten zeer groot is. De gemeten concentraties komen goed overeen met de waarnemingen bij Duitse stortplaatsen. Chloride wordt niet afgebroken in de stortplaats maar de concentraties zullen via uitspoeling in de loop van de tijd afnemen. Voor chloride wordt vastgesteld dat de gemeten concentraties in bijna alle gevallen lager zijn dan de limietconcentratie voor acceptatie van afval op een stortplaats voor ongevaarlijk afval (ongevaarlijke afvalstoffen die in dezelfde cel worden aanvaard als stabiele, niet-reactieve gevaarlijke afvalstoffen). Voor zover er in het geval van chloride gesproken kan worden over een trend (statistische significantie is erg laag), lijkt de Cl^- -concentratie na ongeveer 25 jaar te voldoen aan de normen voor inert afval. Wanneer de trendlijn geëxtrapoleerd wordt vanuit de hoogst gemeten concentraties (Figuur 3.7), dan zouden de Cl^- -concentraties na ongeveer 60 jaar lager worden dan de limietconcentraties uit Bijlage II (inert afval). Deze gegevens lijken erop te wijzen dat de Cl^- -concentraties in percolaatwater van Nederlandse stortplaatsen binnen één tot drie generaties afgenomen zijn tot acceptabele waarden (op basis van acceptatiecriteria voor inert afval). Hierbij wordt opgemerkt dat de uitspoeling van chloride (maar ook van andere mobiele stoffen) beïnvloedt wordt door een eventuele bovenafdichting op de stortplaats. Wanneer een stortplaats voorzien is van een bovenafdichting zal minder regenwater door het afval kunnen percoleren waardoor de emissies langzamer zullen verlopen.

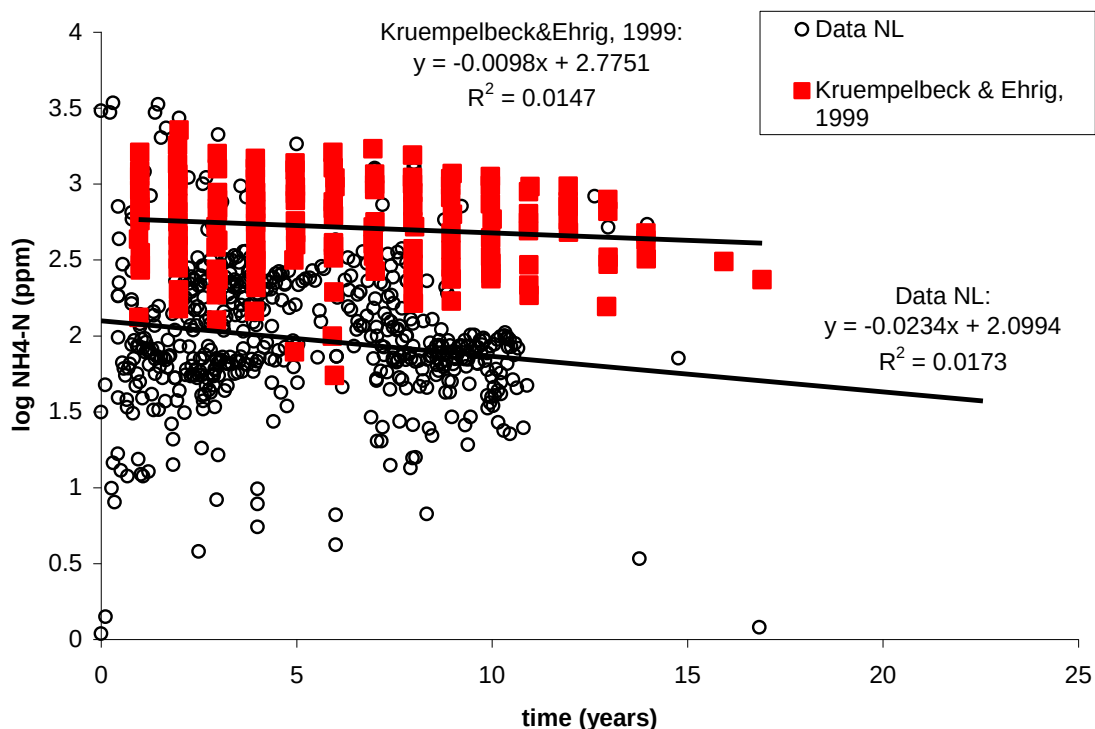


Figuur 3.6 Ontwikkeling van log Cl⁻-concentraties als functie van tijd. De open cirkels zijn de gegevens van de Nederlandse stortplaatsen (n=861), de rode vierkantjes geven de data weer van Duitse stortplaatsen (*gedigitaliseerd uit 9*).



Figuur 3.7 Extrapolatie van log Cl⁻-concentraties als functie van tijd. De blauwe lijn in de grafiek geeft een indicatie van een mogelijke worst case-situatie voor de Cl⁻-ontwikkeling.

In Figuur 3.8 zijn alle NH_4^+ -N resultaten (als $\log \text{NH}_4^+$ -N) van stortplaats gegevens uit Nederland uitgezet als functie van de tijd ($n=548$). De resultaten zijn vergeleken met gegevens uit een Duitse dataset (9). In een eerdere studie (9) werd geconcludeerd dat de emissies van NH_4^+ -N tientallen tot honderden jaren hoger zou kunnen blijven dan de C_0 -limietwaarden (Afvalwater regelgeving Zwitserland). De concentraties van NH_4^+ -N zijn niet gereguleerd in Bijlage II of de Richtlijn Storten zelf. Daarom kan geen conclusie worden getrokken over de mate van overschrijding van een norm. Het is wel opvallend dat de concentraties uit de Nederlandse stortplaatsen structureel aan de lage kant zijn ten opzichte van de gegevens van Duitse stortplaatsen. Analyse van de individuele data toont aan dat de concentraties op stortplaats Nauerna overwegend aan de lage kant van de bandbreedte liggen en voor NH_4^+ -N beïnvloedt dit het beeld voor de stortplaatsen in Nederland. De gegevens van de overige stortplaatsen liggen doorgaans wel binnen de range die waargenomen is in de Duitse studie. De gemiddeld lagere NH_4^+ -N concentraties in percolaatwater van Nauerna zijn waarschijnlijk het gevolg van het doorgaans lagere niveau van organische stof in het afval (er is relatief weinig huisvuil gestort op Nauerna). Er zijn overigens geen duidelijk lagere DOC concentraties waargenomen in percolaatwater van Nauerna in vergelijking met de overige stortplaatsen.



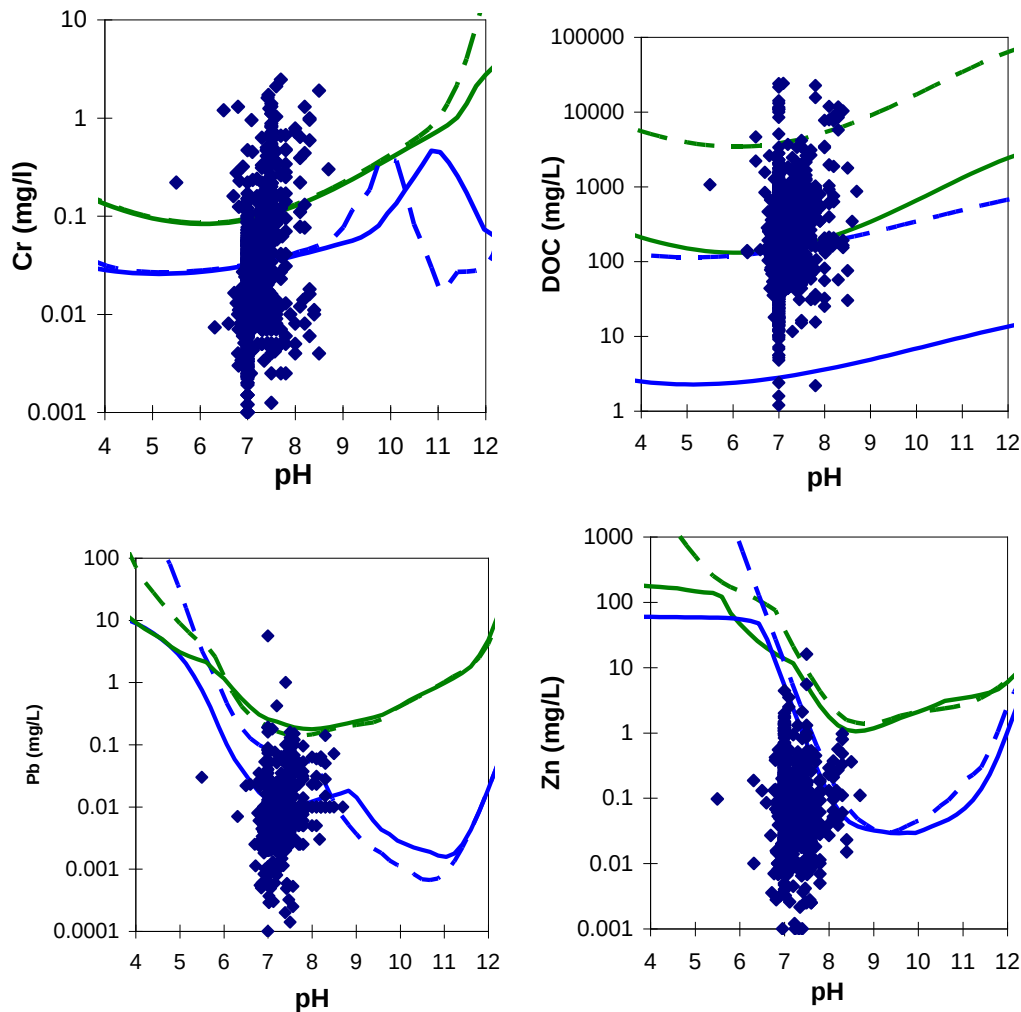
Figuur 3.8 Ontwikkeling van $\log \text{NH}_4^+$ -N-concentraties als functie van tijd. De open cirkels zijn de gegevens van de Nederlandse stortplaatsen ($n=548$), de rode vierkantjes geven de data weer van Duitse stortplaatsen (*gedigitaliseerd uit 9*).

3.5 Vergelijking van concentraties in percolaatwater met modelleringsresultaten

De concentraties van verontreinigingen in het percolaatwater van Nederlandse stortplaatsen vertonen een zeer grote variatie. Deze variatie kan worden veroorzaakt door bijvoorbeeld verschillen in pH, DOC-gehalte, afvalsamenstelling, redoxpotentiaal en ouderdom van het afval. Daarnaast zullen de lokale omstandigheden op het moment van monsternamen ook een

grote invloed kunnen hebben op de percolaatwaterkwaliteit. Wanneer er bijvoorbeeld monsters genomen worden na een periode met veel regenval dan kunnen de concentraties “verdund” worden. Kort na een lange droge periode heeft het pakket water in het stortlichaam langer de tijd gehad om in evenwicht te komen en kunnen vooral de concentraties van mobiele zouten hoger worden. Deze effecten hebben mogelijk ook invloed op de heersende pH, redoxcondities en DOC-gehalten. De gemeten concentraties in het percolaatwater zijn uiteindelijk de som van al deze processen.

In een eerdere studie is onderzoek gedaan naar het effect van verschillen in DOC en redox-potentiaal op de uitloging van huisvuil (10). Hieruit bleek dat verschillen in metaalconcentraties grotendeels te verklaren zijn door de pH, DOC-concentratie en redoxpotentiaal. Voor de concentratie van DOC bleek de L/S ratio een belangrijke factor, bij lage L/S wordt de DOC-concentratie hoger. De resultaten van de percolaatwateranalyses zijn als voorbeeld vergeleken met de gemodelleerde gegevens van huishoudelijk afval onder verschillende condities (lage en hoge DOC-concentraties, en verschillende L/S-waarden). De resultaten van deze vergelijking staan in Figuur 3.9. De bandbreedte van de modellering geeft het verschil in pH, DOC-concentratie en L/S aan (begrenst door de groene en blauwe modellijnen). Hierin wordt nog geen rekening gehouden met mogelijke effecten van hevige regenbuien of lange perioden van droogte rondom het moment van monsternamen. Voor Cr liggen de concentraties in het percolaatwater ook grotendeels buiten de range die berekend is (groene en blauwe lijnen). De gemeten DOC-concentraties liggen grotendeels binnen de aangenomen hoeveelheden in de modellering. De concentraties van Pb en Zn lijken aan de bovenkant “begrensd” te worden door de groene lijnen met de modelresultaten van vers huishoudelijk afval. Voor deze metalen is naast DOC ook de pH belangrijk voor de mate van uitloging. Dit voorbeeld geeft aan dat de grote spreiding in gemeten concentraties in percolaatwater gedeeltelijk verklaard kan worden door variaties in pH, DOC en L/S-verhouding (behalve voor Cr). Daarbovenop komt dan nog een variatie in afvalsamenstelling, -ouderdom en meteorologische condities voor en tijdens de monsternamen. Hierbij wordt wel opgemerkt dat de modelresultaten zijn verkregen door aanpassing van een van de variabelen (L/S ratio of DOC gehalte) terwijl deze parameters in de praktijk tegelijk veranderen samen met de concentraties van andere elementen in het percolaatwater. Deze resultaten tonen dat de concentraties van verontreinigingen in percolaatwater begrenst worden door parameters als pH, DOC en de L/S ratio en het is daarom van belang om naast de monitoring van metalen en zouten ook parameters zoals pH en Eh (redoxpotentiaal), DOC en de L/S-verhouding van stortplaatsen te bepalen.



Figuur 3.9 Concentratie van Cr, DOC, Pb en Zn als functie van pH. De datapunten zijn de gemeten concentraties in percolaatwater. De doorgetrokken lijnen zijn de gemodelleerde concentraties (groen: vers huisvuil, blauw: overwegend anorganisch afval) bij een L/S-verhouding van 10 l/kg. De onderbroken lijnen geven dezelfde informatie weer berekend bij een L/S-verhouding van 0,1 l/kg.

3.6 Vergelijking van concentraties in percolaatwater met acceptatiecriteria

Er is gekozen om de resultaten van alle metaalconcentraties (en zouten) in percolaatwater als functie van DOC te plotten. DOC is immers heel belangrijk bij complexatie van zware metalen (zie ook paragraaf 3.2) en mogelijk kan er een correlatie vastgesteld worden tussen metaalconcentraties en DOC in percolaatwater. Voor zouten is de relatie met DOC niet zinvol; de zouten kunnen goed op basis van tijd (of L/S-ratio) vergeleken worden (zie ook Figuur 3.6).

Omdat DOC veel minder vaak gemeten wordt dan de parameter COD, zijn de gemeten COD-waarden via de gevonden correlatie omgerekend naar een DOC-waarde. Het voordeel hiervan is dat de omgerekende DOC-concentraties direct vergeleken kunnen worden met de C_0 -waarden uit Bijlage II (inert en ongevaarlijk afval). Daarnaast is het belangrijk om te zien of de zware metalen ook voldoen aan de C_0 -waarden bij lage DOC-concentraties.

De resultaten van alle relevante verontreinigingen (waarvoor limietwaarden zijn vastgesteld in Bijlage II) zijn weergegeven in Figuur 3.10 tot en met Figuur 3.12. Als eerste valt op dat de verschillen in gemeten concentraties groot is. Analyse van de gegevens van individuele compartimenten wijst er ook op dat de range in concentraties aanzienlijk is. Dit is een belangrijk gegeven bij de interpretatie van deze gegevens en bij het vaststellen van het referentiekader voor de toekomstige verduurzamingspilots.

De concentraties in percolaatwater zijn vergeleken met zowel de acceptatienorm voor afvalstoffen op een stortplaats voor ongevaarlijk afval (ongevaarlijke afvalstoffen die in dezelfde cel worden aanvaard als stabiele, niet-reactieve gevaarlijke afvalstoffen) als met de normen voor een inerte stortplaats uit Bijlage II. In algemene zin kan worden gesteld dat de gemeten concentraties van verontreinigingen veelal lager zijn dan de C_0 -limietconcentraties voor acceptatie op een stortplaats voor ongevaarlijk afval. Slechts voor As (n=1125), Hg (n=517), Pb (n=550) en Zn (n=1119) zijn één of enkele waarnemingen uit de gehele dataset hoger dan de limietconcentratie voor ongevaarlijk afval. De (omgerekende) DOC - concentraties (n=2133) overschrijden in ongeveer de helft van de gevallen de limietconcentraties voor acceptatie van ongevaarlijk (en van inert) afval.

Wanneer de concentraties in percolaatwater worden vergeleken met de acceptatielimiet voor afval op een stortplaats voor *inert afval* dan blijkt dat de elementen Ba (n=123), Sb (n=83) en Se (n=84) altijd aan de limietconcentratie voldoen. De meeste elementen (Cd (n=547), Cu (n=1029), Hg (n=517), Mo (n=88), Pb (n=550), F (n=56), SO_4^{2-} (n=324), Zn (n=1119) en phenol-index (n=200)) laten in enkele gevallen een overschrijding zien en een aantal elementen (As (n=1125), Cr (n=956) en Ni (n=976)) overschrijden de limietconcentratie regelmatig. Het aantal overschrijdingen van de limietconcentraties is 432 voor As, 147 voor Cr en 821 voor Ni. De concentraties van Cl^- (n=983) overschrijden de limietconcentraties in de meeste gevallen (821 keer).

De concentraties van Cr en Ni in de percolaatgegevens van Nauerna (ongeveer 75% van alle gegevens) zijn structureel lager dan de range die gevonden is voor de overige stortplaatsen. Een relatief groot gedeelte van de concentraties Cr en Ni op stortplaats Nauerna zijn lager dan de C_0 limietconcentratie voor acceptatie van afval op een stortplaats voor inert afval. Wanneer alle gegevens in beschouwing genomen worden (zie paragraaf hierboven) dat blijkt dat deze concentraties regelmatig hoger zijn dan de limietconcentratie. De elementen Cr en Ni zijn dus zeker aandachtspunten en kunnen waarschijnlijk lager worden door verdergaande afbraak van de reactieve organische stof in de stortplaats (COD/DOC concentratie).

Wanneer de DOC-concentraties lager zijn dan de limietconcentraties voor acceptatie van afval op een stortplaats voor inert afval lijken de concentraties van de meeste verontreinigingen ook lager te zijn dan de limietconcentraties. Het is opvallend dat de Cu-concentraties in het percolaatwater geen correlatie hebben met de DOC-concentratie; dit is ook vastgesteld in fase 1 van Duurzaam Storten (2). Modelberekeningen aan huishoudelijk afval onder reducerende omstandigheden toonden aan dat Cu(II) gereduceerd wordt naar Cu(I)-species (10). De Cu(I)-species kunnen sulfiden vormen en binden vele malen minder sterk aan DOC.

Uit de dataset voor de Nederlandse stortplaatsen is te zien dat de elementen F, Mo, Sb en Se relatief weinig geanalyseerd zijn. Deze elementen zijn sinds ongeveer 10 jaar geleden gemeten, voor die tijd werden deze elementen kennelijk helemaal nog niet gemeten. Het is aan te bevelen om deze elementen ook in de toekomst te blijven meten (naast de andere

elementen uit de Europese richtlijn storten). Daarnaast is het aan te bevelen om ook met enige regelmaat analyses uit te voeren op andere hoofd- en sporenelementen die (nog) niet zijn opgenomen in de Europese richtlijn storten. Op die manier wordt een langlopende dataset opgebouwd die later gebruikt kan worden bij revisies van regelgeving en voor onderzoeksdoeleinden met betrekking tot voorspelling van emissies op lange termijn.

In de rapportage van de eerste fase van Duurzaam Storten (2) is op basis van kolomtesten in het laboratorium geconcludeerd dat de elementen Cl^- , Sb en SO_4^{2-} niet aan de norm voor acceptatie van afvalstoffen op een stortplaats voor inert afval voldoen (beoordeling op $\text{L/S}=10$ emissie). Het afvalmengsel dat gemaakt is voor de pilotproef op Nauerna representeert een samenstelling van relatief anorganisch materiaal. Aan de andere kant is in dit project een karakterisering uitgevoerd op een mengsel van organisch afval voor de pilotproef in Landgraaf (4). Het doel van de organische stortplaats is om op langere termijn te komen tot een emissie die voldoet aan de criteria voor inert afval. Het verse materiaal met een hoog organische stof gehalte heeft een relatief hoge uitloging voor de meeste elementen (As, Cd, Cl^- , Cr, Cu, DOC, Mo, Ni, Sb, SO_4^{2-} en Zn).

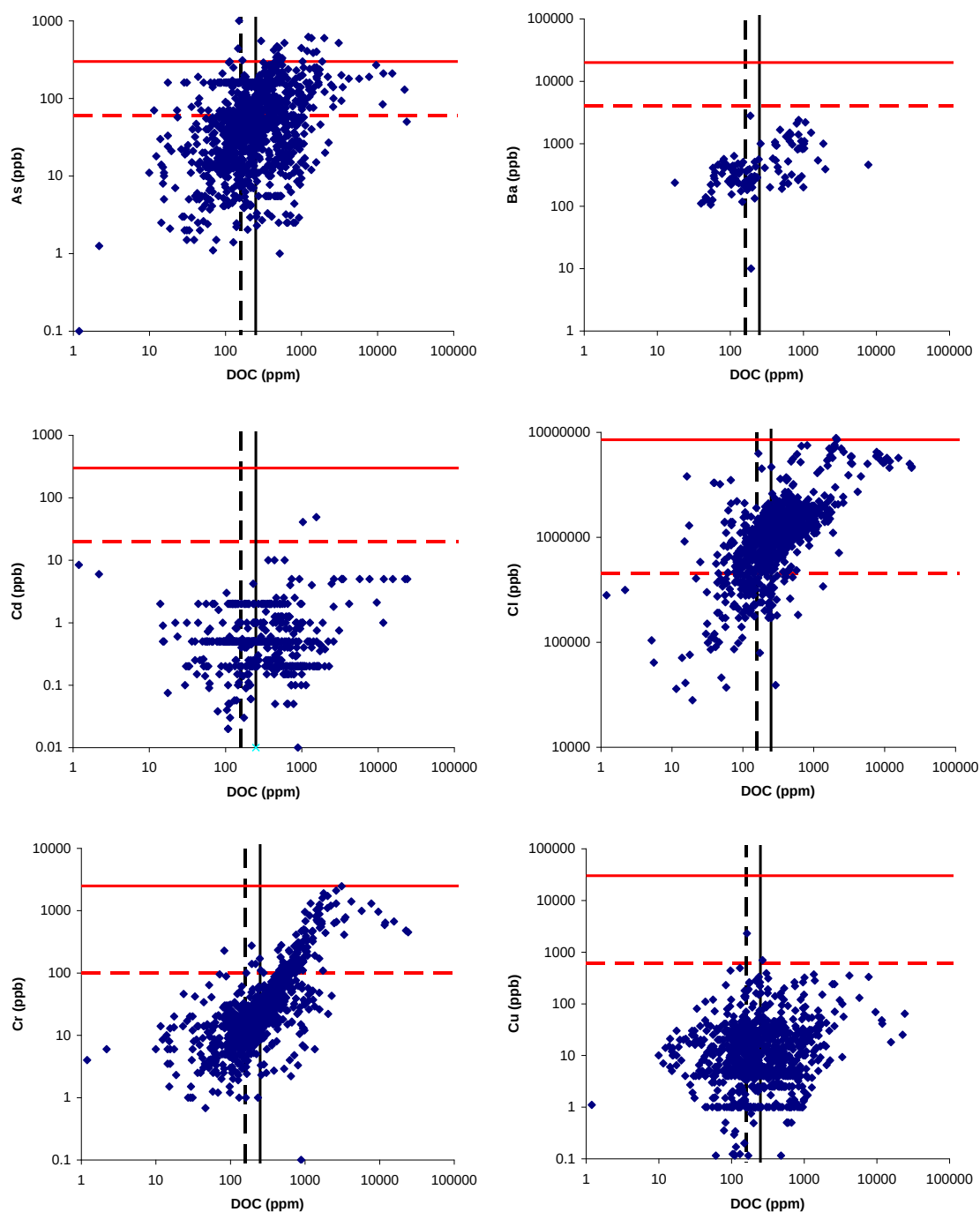
De resultaten uit deze studie komen grotendeels overeen met de resultaten uit de eerste fase van Duurzaam Storten. De overschrijding van de Cl^- -concentraties die naar voren komt in deze studie is ook geconstateerd in de pilotproeven met overwegend anorganisch afval (Nauerna) en organisch afval (Landgraaf). De Sb-emissies in de pilotproeven zijn destijds ook als potentieel probleem geïdentificeerd alhoewel de relatief hoge detectielimiet van ICP-AES-analyses mogelijk zorgt voor een schijnbare overschrijding. De analyses van percolaatwater in deze studie laten juist zien dat de concentraties van Sb in de praktijk altijd lager zijn dan de limietconcentraties. Het lijkt er op dat dit element geen probleem is bij de emissies uit stortplaatsen op basis van de vergelijking van percolaatwater gegevens met de C_0 -concentraties uit Bijlage II.

De emissie van SO_4^{2-} , waarvoor eerder in de laboratoriumexperimenten relatief hoge concentraties zijn gevonden, blijkt in de praktijk doorgaans betrekkelijk laag te zijn. Dit kan mogelijk verklaart worden door de reducerende condities in de stortplaats waardoor SO_4^{2-} gereduceerd wordt tot sulfiden. Tenslotte zijn regelmatig relatief hoge concentraties As, Cr en Ni vastgesteld in het percolaatwater. Deze elementen zijn niet als potentiële probleemelementen bestempeld in het equistort-onderzoek (Nauerna) met overwegend anorganisch afval (2), maar wel in het verse mengsel van organisch afval bij de pilotproef op Landgraaf (4). Zoals hierboven beschreven is vastgesteld dat de concentraties van Cr en Ni in percolaatwater van Nauerna relatief laag zijn ten opzichte van de totale dataset. Uit Figuur 3.10 en Figuur 3.11 blijkt ook dat de overschrijdingen van limietconcentraties voor Cr en Ni (bijna) altijd samenhangen met hoge DOC-concentraties (hoger dan de DOC-limietconcentraties voor ongevaarlijk afval). Voor As is dit beeld iets minder duidelijk. Voor dit element zijn 169 waarnemingen hoger dan de limietconcentratie terwijl de DOC-concentraties lager zijn dan de norm voor ongevaarlijk afval. Echter, ook voor As lijkt dezelfde trend van toenemende concentraties met toenemend DOC-gehalte aanwezig.

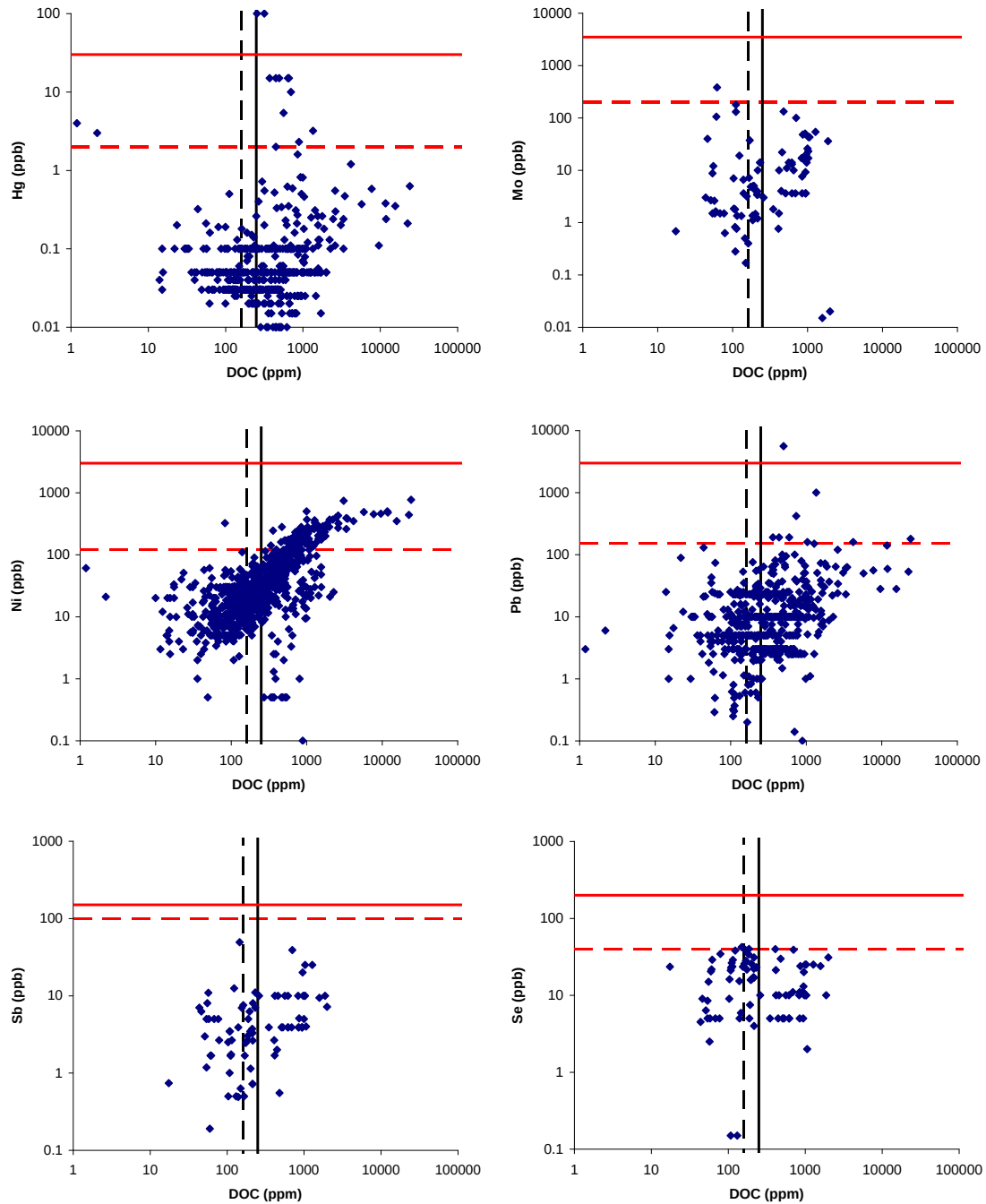
Het samenbrengen van de data van verschillende Nederlandse stortplaatsen biedt ook mogelijkheden om een basis te creëren voor de beoordelingssystematiek om de haalbaarheid van de geplande uit te voeren verduurzamingspilots te toetsen. De database met percolaatwatergegevens kan hierbij dienen als een soort referentiekader. Daarnaast lijkt de in deze studie gehanteerde toetsing op basis van vergelijking van percolaatgegevens met C_0 -concentraties uit Bijlage II een relevante basis. De stortplaatsen kunnen namelijk gezien

worden als een hele grote kolomproef bij een relatief lage L/S-ratio en om deze reden lijkt vergelijking met limietconcentraties afgeleid uit een kolomproef bij $L/S=0,1$ acceptabel.

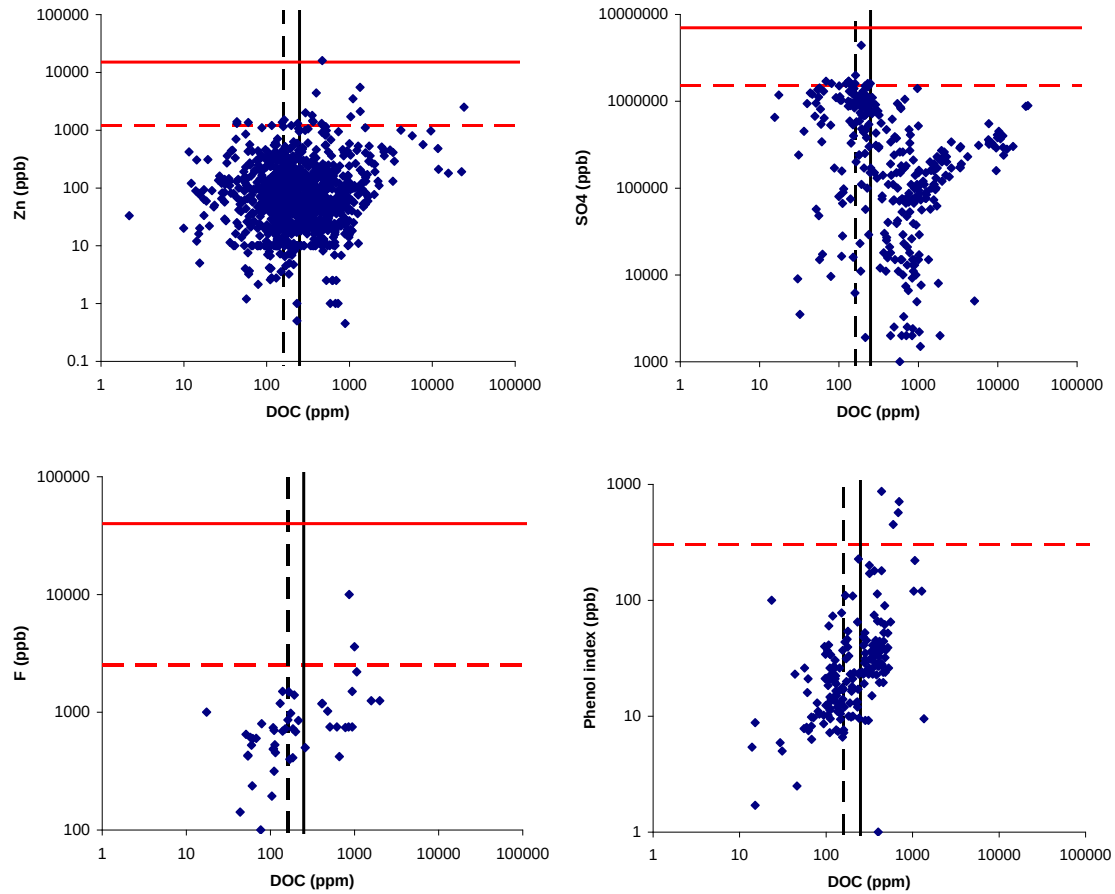
De resultaten van deze studie laten duidelijk zien dat grote verschillen in concentraties bestaan, zelfs binnen een compartiment. Dit wijst op het belang van de verzameling van langdurige monitoringgegevens van stortplaatsen. De resultaten uit dit onderzoek onderstrepen ook de noodzaak om voorafgaand aan de verduurzamingspilots een dataset opgebouwd te hebben met veel gegevens van de percolaatwatersamenstelling, waarbij alle relevante elementen worden geanalyseerd. Naast analyses van de elementen die voor regelgeving relevant zijn is het ook nuttig om andere hoofd- en sporenelementen te gaan/blijven monitoren. Deze gegevens zullen op enig moment belangrijk worden, bijvoorbeeld bij eventuele herzieningen van Bijlage II.



Figuur 3.10 Concentraties van As, Ba, Cd, Cl⁻, Cr en Cu in percolaatwater van Nederlandse stortplaatsen (in ppb) als functie van de DOC-concentratie (ppm). De horizontale (metalen en zouten) en verticale (DOC) lijnen in de grafieken geven de C₀-limietconcentraties weer uit Bijlage II voor acceptatie van afval op een stortplaats voor ongevaarlijk (doorgetrokken lijn) en inert (onderbroken lijn) afval.



Figuur 3.11 Concentraties van Hg, Mo, Ni, Pb, Sb en Se (ppb) in percolaatwater van Nederlandse stortplaatsen als functie van de DOC-concentratie (ppm). De horizontale (metalen en zouten) en verticale (DOC) lijnen in de grafieken geven de C₀-limietconcentraties weer uit Bijlage II voor acceptatie van afval op een stortplaats voor ongevaarlijk (doorgetrokken lijn) en inert (onderbroken lijn) afval.



Figuur 3.12 Concentraties van Zn, F, SO₄²⁻ en phenol index (ppb) in percolaatwater van Nederlandse stortplaatsen als functie van de DOC-concentratie (ppm). De horizontale (metalen en zouten) en verticale (DOC) lijnen in de grafieken geven de C₀-limietconcentraties weer uit Bijlage II voor acceptatie van afval op een stortplaats voor ongevaarlijk (doorgetrokken lijn) en inert (onderbroken lijn) afval.

4. Conclusies en aanbevelingen

In dit project zijn in totaal 2.874 analyses van percolaatwatersamenstellingen verzameld en in de LeachXS-database gezet. Elke meting bevatte een wisselende hoeveelheid aan analyse-resultaten. In totaal zijn 210 verschillende parameters gemeten in de gehele dataset. Dit leverde 46.171 analyseresultaten variërend van macroparameters, zware metalen, hoofd-elementen, zouten en organische microverontreinigingen.

De concentraties van verontreinigingen in het percolaatwater van Nederlandse stortplaatsen vertonen een zeer grote variatie. Deze variatie kan worden veroorzaakt door verschillen in pH, DOC gehalte, afvalsamenstelling, redoxpotentiaal en bijvoorbeeld ouderdom van het afval. Daarnaast zullen de lokale omstandigheden op het moment van monsternamen ook een grote invloed kunnen hebben op de percolaatwaterkwaliteit. Dit is een belangrijk gegeven bij de interpretatie van deze gegevens en bij het vaststellen van het referentiekader voor de toekomstige verduurzamingspiloten.

De resultaten van de percolaatgegevens laten zien dat ongeveer 75% van de gegevens afkomstig zijn van stortplaats Nauerna. Uit analyse van de gegevens kan worden geconcludeerd dat de componenten NH_4^+ -N, Cr en Ni overwegend een lagere concentratie hebben in het percolaatwater van Nauerna ten opzichte van de gemiddelde concentraties van de andere stortplaatsen. Deze afwijkingen beïnvloeden de conclusies over deze elementen echter niet. De concentraties van de overige elementen van stortplaats Nauerna hebben grofweg dezelfde bandbreedte als de rest van de percolaatgegevens.

De afbraak van organische stof is een van de belangrijkste parameters om de stabiliteit (chemisch) van de stortplaats te bepalen. COD (chemical oxygen demand) is een veel gemeten parameter die indicatief is voor de stabiliteit van een stortplaats.

De COD-concentraties (als log COD) nemen af als functie van tijd. De resultaten van de Nederlandse stortplaatsen komen ook redelijk overeen met een Duits onderzoek, alhoewel de spreiding in de meetgegevens groot is. De resultaten van de vergelijking tonen aan dat de afbraaksnelheid van organische stof in percolaatwater van Nederlandse en de Duitse stortplaatsen ongeveer gelijk is. Hierbij wordt wel opgemerkt dat de correlatiecoëfficiënt van de regressie laag is en dat daarom een forse onnauwkeurigheid te verwachten is in de voorspellingskracht van deze relatie. Dit in beschouwing nemende geeft de regressielijn aan dat een Nederlandse stortplaats na ongeveer 15 jaar op een acceptabele COD (omgerekend naar DOC)-concentratie zou uitkomen (inert afval). De Duitse data geven aan dat de COD-concentraties na ongeveer 20 jaar zullen voldoen aan de limietconcentraties uit Bijlage II voor acceptatie van afval op een stortplaats voor inert afval. Omdat de spreiding in de gegevens zo groot is, is ook een worst case-schatting gemaakt van de COD-concentraties als functie van tijd. Hieruit blijkt dat de COD dan na ongeveer 60-70 jaar lager worden dan de C_0 -limietwaarden uit Bijlage II (op basis van omgerekende DOC-concentraties). Deze gegevens lijken erop te wijzen dat de COD-concentraties in percolaatwater van Nederlandse stortplaatsen binnen één tot drie generaties afgenomen is tot acceptabele waarden op basis van de acceptatiecriteria (C_0 concentraties) voor acceptatie van afval op een stortplaats voor inert afval.

Ook voor de Cl^- -concentraties als functie van tijd geldt dat de spreiding in resultaten zeer groot is. De gemeten concentraties komen wel goed overeen met de waarnemingen (en de spreiding hierin) bij Duitse stortplaatsen. Chloride wordt niet afgebroken in de stortplaats maar de concentraties nemen in de loop van de tijd via uitspoeling af. Voor chloride wordt vastgesteld dat de gemeten concentraties in bijna alle gevallen lager zijn dan de limietconcentratie voor acceptatie van afval op een stortplaats voor ongevaarlijk afval (ongevaarlijke afvalstoffen die in dezelfde cel worden aanvaard als stabiele, niet-reactieve gevaarlijke afvalstoffen). Voor zover er in het geval van chloride gesproken kan worden over een trend (statistische significantie is erg laag), lijkt de Cl^- -concentratie na ongeveer 25 jaar te voldoen aan de normen voor inert afval. Wanneer de trendlijn geëxtrapoleerd wordt vanuit de hoogst gemeten concentraties, dan zouden de Cl^- -concentraties na ongeveer 60 jaar lager worden dan de limietconcentraties uit Bijlage II (inert afval). Deze gegevens lijken erop te wijzen dat de Cl^- -concentraties in percolaatwater van Nederlandse stortplaatsen binnen één tot drie generaties afgenomen zijn tot acceptabele waarden (op basis van acceptatiecriteria voor inert afval). Hierbij wordt opgemerkt dat de uitspoeling van chloride beïnvloed wordt door een eventuele bovenafdichting op de stortplaats. Wanneer een stortplaats voorzien is van een bovenafdichting zal minder regenwater door het afval kunnen percoleren waardoor de emissies langzamer zullen verlopen; het potentieel blijft aanwezig.

Tenslotte zijn de gegevens van ammonium (als $\text{NH}_4^+\text{-N}$) als functie van tijd vergeleken met de resultaten uit een Duitse studie. Uit deze resultaten wordt geconcludeerd dat de concentraties uit de Nederlandse stortplaatsen structureel aan de lage kant zijn ten opzichte van de gegevens van Duitse stortplaatsen. De relatief lage concentraties op stortplaats Nauerna beïnvloeden het beeld voor de stortplaatsen in Nederland. De gegevens van de overige stortplaatsen liggen doorgaans wel binnen de range die waargenomen is in de Duitse studie. De gemiddeld lagere $\text{NH}_4^+\text{-N}$ concentraties in percolaatwater van Nauerna zijn waarschijnlijk het gevolg van het doorgaans lagere niveau van organische stof in het afval. Er zijn overigens geen duidelijk lagere DOC concentraties waargenomen in percolaatwater van Nauerna in vergelijking met de overige stortplaatsen

Wanneer de concentraties van de verontreinigingen in percolaatwater worden vergeleken met limietconcentraties dan blijkt dat deze doorgaans lager zijn dan de limietconcentraties voor acceptatie van afval op een stortplaats voor ongevaarlijk afval (ongevaarlijke afvalstoffen die in dezelfde cel worden aanvaard als stabiele, niet-reactieve gevaarlijke afvalstoffen), met uitzondering van DOC. De concentraties van As (38% van de gegevens), Cr (15% van de gegevens) en Ni (13% van de gegevens) zijn regelmatig hoger dan de concentratielimiet voor acceptatie van afval op een stortplaats voor inert afval. De resultaten geven aan dat de overschrijdingen van limietconcentraties voor Cr en Ni (bijna) altijd samenhangen met hoge DOC-concentraties (hoger dan de DOC-limietconcentraties voor ongevaarlijk afval). Voor As is dit beeld iets minder duidelijk, voor dit element zijn 169 waarnemingen hoger dan de limietconcentratie terwijl de DOC-concentraties lager zijn dan de norm voor een stortplaats voor ongevaarlijk afval (ongevaarlijke afvalstoffen die in dezelfde cel worden aanvaard als stabiele, niet-reactieve gevaarlijke afvalstoffen). Echter, ook voor As lijkt dezelfde trend aanwezig. De concentraties van Cl^- overschrijden de limietconcentraties in de meeste gevallen (84% van de gegevens). Voor Cl^- zal de concentratie in de loop van de tijd afnemen door uitspoeling. Wanneer de DOC-concentraties lager zijn dan de limietconcentraties voor acceptatie van afval op een stortplaats voor inert afval lijken de concentraties van de meeste verontreinigingen ook lager te zijn dan de limietconcentraties.

De dataset voor de Nederlandse stortplaatsen laat zien dat de elementen F, Mo, Sb en Se relatief weinig geanalyseerd zijn. Deze elementen worden sinds ongeveer 10 jaar gemeten; voor die tijd werden deze elementen kennelijk helemaal nog niet gemeten. Het is aan te bevelen om deze elementen ook in de toekomst naast de andere elementen uit Bijlage II te blijven meten. Daarnaast is het aan te bevelen om ook met enige regelmaat analyses uit te voeren op andere hoofd- en sporenelementen die (nog) niet zijn opgenomen in Bijlage II. Een aantal stoffen is bijvoorbeeld al gereguleerd in het Besluit Bodemkwaliteit en/of in de regeling $C_{\text{geconditioneerd}}$: Br^- , Co, Sn, V, W, cyaniden. Op die manier wordt een langlopende dataset opgebouwd die later gebruikt kan worden bij het aantonen van een duurzame situatie in de stortplaats en bij eventuele revisies van regelgeving. Daarnaast is het opbouwen van een uitgebreide dataset belangrijk voor onderzoeksdoeleinden met betrekking tot voorspelling van emissies op lange termijn.

Het samenbrengen van de data van verschillende Nederlandse stortplaatsen biedt ook mogelijkheden om een basis te creëren voor de beoordelingssystematiek om de haalbaarheid van de geplande uit te voeren verduurzamingspilots te toetsen. De database met percolaatwater gegevens kan hierbij dienen als een soort referentiekader. Daarnaast lijkt de in deze studie gehanteerde toetsing op basis van vergelijking van percolaatgegevens met C_0 -concentraties uit Bijlage II een relevante basis. De stortplaatsen kunnen namelijk gezien worden als een hele grote kolomproef bij een relatief lage L/S-ratio en om deze reden is vergelijking met limietconcentraties afgeleid uit een kolomproef bij $L/S=0,1$ valide.

De resultaten van deze studie laten duidelijk zien dat grote verschillen in concentraties bestaan, zelfs binnen een compartiment. Dit wijst op het belang van de verzameling van langdurige monitoringgegevens (inclusief pH, DOC, Eh, L/S verhouding) van stortplaatsen. De resultaten uit dit onderzoek onderstrepen ook de noodzaak om voorafgaand aan de verduurzamingspilots een dataset opgebouwd te hebben met veel gegevens van de percolaatwater-samenstelling, waarbij alle relevante elementen worden geanalyseerd. Naast analyses van de elementen die voor regelgeving relevant zijn is het ook nuttig om andere hoofd- en sporenelementen te gaan/blijven monitoren. Deze gegevens kunnen op enig moment belangrijk worden, bijvoorbeeld voor het aantonen van een duurzame situatie in de stortplaats en bij toekomstige revisies van Bijlage II.

5. Referenties

- (1) van der Sloot, H. A.; van Zomeren, A.; Dijkstra, J. J.; Meeussen, J. C. L.; Comans, R. N. J.; Scharff, H. Prediction of the leaching behaviour of waste mixtures by chemical speciation modelling based on a limited set of key parameters. In *10th international waste management and landfill symposium*; Cossu, R., Stegmann, R., Eds.; CISA - Environmental Sanitary Engineering Centre, Cagliari, Italy: S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, **2005**.
- (2) van Zomeren, A.; van der Sloot, H. A. *Equistort, stortplaats voor overwegend anorganisch afval*; Dutch sustainable landfill foundation: Den Bosch, **2006**.
- (3) Council Decision 2003/33/EG of 19 December 2002 establishing criteria for the acceptance of waste at landfills pursuant to Article 16 and Annex II of Directive 1999/31/EC on the landfill of waste. Official Journal of the European Communities . **2003**.
- (4) Luning, L.; van Zundert, E. H. M.; Coops, O. *Bioreactor, stortplaats voor overwegend organisch afval*; **2006**.
- (5) Kinniburgh, D. G.; van Riemsdijk, W. H.; Koopal, L. K.; Borkovec, M.; Benedetti, M. F.; Avena, M. J. Ion binding to natural organic matter: competition, heterogeneity, stoichiometry and thermodynamic consistency. *Colloids Surf. A* **1999**, *151* 147-166.
- (6) Milne, C. J.; Kinniburgh, D. G.; van Riemsdijk, W. H.; Tipping, E. Generic NICA-Donnan model parameters for metal-ion binding by humic substances. *Environ. Sci. Technol.* **2003**, *37* (5), 958-971.
- (7) van der Sloot, H. A.; Rietra, R. P. J. J.; Vroon, R.; Scharff, H.; Woelders, J. A. Similarities in the long term leaching behaviour of predominantly inorganic waste, MSWI bottom ash, degraded MSW and bioreactor residues. In *Eighth International waste management and landfill symposium*; Christensen, T. H., Cossu, R., Stegmann, R., Eds.; CISA - Environmental Sanitary Engineering Centre, Cagliari, Italy: S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, **2001**.
- (8) Woelders, J. A.; Oonk, H. Full-scale demonstration of treatment of MSOR in a bioreactor at VAM in Wijster. In *7th International waste management and landfill symposium*; Christensen, T. H., Cossu, R., Stegmann, R., Eds.; CISA - Environmental Sanitary Engineering Centre, Cagliari, Italy: S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, **1999**.
- (9) Kruempelbeck, I.; Ehrig, H. J. Long-term behaviour of municipal solid waste landfills in Germany. In *7th international waste management and landfill symposium*; Christensen, T. H., Cossu, R., Stegmann, R., Eds.; CISA - Environmental Sanitary Engineering Centre, Cagliari, Italy: S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, **1999**.
- (10) van der Sloot, H. A.; van Zomeren, A.; Meeussen, J. C. L. Prediction of release behaviour from municipal solid waste with emphasis on redox status and level of organic matter degradation. In *12th international waste management and landfill symposium*; Cossu, R.,

Diaz, L. F., Stegmann, R., Eds.; CISA - Environmental Sanitary Engineering Centre, Cagliari, Italy: S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, **2009**.