

SV-503

MAXIMA

Maximaal inzicht met macro analyse:
procesmatige onderbouwing van monitoringssystemen

Fase 4: definitief rapport

ing. R.J. Wolbrink (Royal Haskoning)
dr. ir. T.J. Heimovaara
dr. G.A.M. van Meurs

september 2003

Gouda, SKB

Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem

Auteursrechten

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze opgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van SKB.

Het is toegestaan overeenkomstig artikel 15a Auteurswet 1912 gegevens uit deze uitgave te citeren in artikelen, scripties en boeken mits de bron op duidelijke wijze wordt vermeld, alsmede de aanduiding van de maker, indien deze in de bron voorkomt, "©"MAXIMA - Maximaal inzicht met macro analyse: procesmatige onderbouwing van monitoringsystemen", september 2003, SKB, Gouda."

Aansprakelijkheid

SKB en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van deze uitgave. Nochtans moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat er toch fouten en onvolledigheden in deze uitgave voorkomen. Ieder gebruik van deze uitgave en gegevens daaruit is geheel voor eigen risico van de gebruiker en SKB sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze uitgave en de daarin opgenomen gegevens, tenzij de schade mocht voortvloeien uit opzet of grove schuld zijdens SKB en/of degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt.

Copyrights

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording and/or otherwise, without the prior written permission of SKB.

It is allowed, in accordance with article 15a Netherlands Copyright Act 1912, to quote data from this publication in order to be used in articles, essays and books, unless the source of the quotation, and, insofar as this has been published, the name of the author, are clearly mentioned, "©"MAXIMA - Maximum Insight through Macro", September 2003, SKB, Gouda, The Netherlands."

Liability

SKB and all contributors to this publication have taken every possible care by the preparation of this publication. However, it can not be guaranteed that this publication is complete and/or free of faults. The use of this publication and data from this publication is entirely for the user's own risk and SKB hereby excludes any and all liability for any and all damage which may result from the use of this publication or data from this publication, except insofar as this damage is a result of intentional fault or gross negligence of SKB and/or the contributors.

Titel rapport

MAIXIMA - Maximaal inzicht met macro analyse:
procesmatige onderbouwing van monitoringssystemen

SKB rapportnummer

SV-503

Fase 4: definitief rapport

Project rapportnummer

SV-503

Auteur(s)

ing. R.J. Wolbrink
dr. ir. T.J. Heimovaara
dr. G.A.M. van Meurs

Aantal bladzijden

Rapport: 25
Bijlagen A en B: 28
(Bijlage C: werkdocumenten)

Uitvoerende organisatie(s) (Consortium)

Royal Haskoning, GeoDelft, Milieudienst Amsterdam, Projectbureau Volgermeerpolder, Shell en SKB

Uitgever

SKB, Gouda

Samenvatting

Toenemend inzicht in de optredende hydrologische en biogeochemische processen op een locatie biedt mogelijkheden tot optimalisatie van monitoring. Bij monitoring van verspreiding wordt dit procesinzicht onder meer verkregen door het meten en interpreteren van de macrochemische parameters in het grondwater. Macroparameters verspreiden zich sneller dan de microverontreinigingen in grondwater. Hierdoor functioneren deze macroparameters als een tracer voor verontreinigingen en kunnen locaties bepaald worden waar in de toekomst microverontreinigingen verwacht worden.

Trefwoorden**Gecontroleerde termen**

meten, modellen, monitoring, verspreiding,
vuilstortplaatsen

Vrije trefwoorden

conceptueel lokaal beeld,
macrochemie, procesinzicht,
Volgermeerpolder

Titel project

MAIXIMA - Maximaal inzicht door Macro Analyse:

Projectleiding

Royal Haskoning, Rotterdam
(ing. R.J. Wolbrink, tel. 010-2865511)

Dit rapport is verkrijgbaar bij:

SKB, Postbus 420, 2800 AK Gouda

Report title
MAXIMA - Maximum Insight through Macro Analysis

SKB report number
SV-503

Phase 4: final report

Project report number
SV-503

Author(s)
ing. R.J. Wolbrink
dr. ir. T.J. Heimovaara
dr. G.A.M. van Meurs

Number of pages
Report: 25
Appendices A and B: 28
(Appendix C: workdocuments)

Executive organisation(s) (Consortium)

Royal Haskong, GeoDelft, Milieudienst Amsterdam, Projectbureau Volgermeerpolder, Shell en SKB

Publisher

SKB, Gouda

Abstract

Increasing insight into the hydrological and bio-geo-chemical processes that occur at a site offers opportunities for the optimisation of monitoring. In the case of monitoring spreading, there are several methods to gain this process insight, including measuring and interpreting the macro-chemical parameters in the groundwater. Macro-parameters spread more rapidly than the micro-contaminants in groundwater. This means that these macro-parameters function as a tracer for contaminants and facilitate the detection of locations where micro-contaminants can be expected in the future.

Keywords

Controlled terms

measurement, modelling, monitoring,
spreading, waste dumps

Uncontrolled terms

conceptual local image,
macro-chemistry, process insight,
Volgermeerpolder

Project title

MAXIMA - Maximum Insight through Macro Analysis

Projectmanagement

Royal Haskoning, Rotterdam
(R.J. Wolbrink, tel. 010-2865511)

This report can be obtained by: SKB, PO Box 420, 2800 AK Gouda, The Netherlands
Netherlands Centre for Soil Quality Management and Knowledge Transfer (SKB)

INHOUD

		SAMENVATTING.....	IV
		SUMMARY.....	VII
Hoofdstuk	1	INLEIDING	1
	1.1	Achtergrond	1
	1.2	Doelstelling onderzoek.....	1
	1.3	Probleemstelling: monitoren kan effectiever	1
	1.4	Opzet onderzoek.....	2
	1.5	Leeswijzer	3
Hoofdstuk	2	METHODIEK: HET GEBRUIK VAN CONCEPTUELE LOCALE BEELDEN .	4
	2.1	Wat is een Conceptueel Locaal Beeld?	4
	2.2	Conceptueel Locaal Beeld en monitoring.....	5
	2.3	Fasering implementatie monitoring	5
Hoofdstuk	3	CONCEPTUEEL LOCAAL - BEELD-VERSIE 1	6
	3.1	Het Conceptueel Locaal Beeld voor een stortplaats	6
	3.2	Historische informatie	7
	3.3	Bodemopbouw en geohydrologie.....	7
	3.4	Geochemie: uitvoering van een clusteranalyse.....	8
	3.5	Geochemie: transportberekeningen met PHREEQC	8
	3.6	Vragen op basis van CLB – versie 1	9
Hoofdstuk	4	CONCEPTUEEL LOCAAL BEELD – VERSIE 2.....	10
	4.1	Meetplan	10
	4.2	Uitvoeren van metingen	11
	4.3	Interpretatie bodemopbouw, gebruik 2D grondwatermodel.....	11
	4.4	Geochemische karakterisatie.....	11
	4.5	Vragen op basis van CLB – versie 2.....	12
Hoofdstuk	5	CONCEPTUEEL LOCAAL BEELD – VERSIE 3.....	13
	5.1	Meetplan	13
	5.2	Onderzoek halogeniden	13
	5.3	Isotopenonderzoek	14
	5.4	EM-34 onderzoek.....	16
	5.5	Grondwaterstroming	17
	5.6	Vragen op basis van CLB-versie 3.....	20
Hoofdstuk	6	CONCLUSIES	21
	6.1	Werken vanuit een CLB	21
	6.2	Integratie van hydrologie en geochemie	21
	6.3	Zekerheid	22
	6.4	Voorspellende waarde	22
	6.5	Technische uitvoerbaarheid (flexibel meetnet).....	22
	6.6	Toetsingskaders.....	23
Hoofdstuk	7	AANBEVELINGEN	24
		LITERATUUR	25
Bijlage	A	GEREEDSCHAPSKIST	
Bijlage	B	VOORBEELD MATRIX MEETPLAN MAXIMA FASE 2	

SAMENVATTING

MAXIMA - Maximaal Inzicht door Macro Analyse

Uitgangspunt voor het onderzoek was de idee dat toenemend inzicht in de optredende hydrologische en biogeochemische processen op een locatie mogelijkheden biedt tot optimalisatie van de monitoring. Voor monitoring van verspreiding wordt dit procesinzicht onder meer verkregen door het meten en interpreteren van de macrochemische parameters in het grondwater: vandaar de titel van dit project: Maximaal Inzicht met Macro Analyse, aangeduid met een acroniem MAXIMA.

Doelstelling onderzoek

Doelstelling van het project MAXIMA is het ontwikkelen van een methode waarmee monitoring langs grenzen van (verontreinigde) locaties kan worden verbeterd. Het onderzoek is uitgevoerd door Haskoning Nederland B.V. en GeoDelft, in samenwerking met de eindgebruikers Milieudienst Amsterdam en Shell. Het project is financieel ondersteund door SKB.

De gebruikte methode: werken vanuit een Conceptueel Locaal Beeld (CLB)

Bij het karakteriseren van een locatie moet zeer veel informatie worden gecombineerd. Het gaat hierbij om gegevens met een heel verschillend formaat, informatiedichtheid en nauwkeurigheid. Denk hierbij aan historische informatie, fysische parameters, chemische parameters en (bio)geochemische parameters. Uit deze informatie kan een Conceptueel Locaal Beeld gemaakt worden. Het monitoren van locaties krijgt met deze methode een cyclisch karakter, waarbij de volgende stappen worden onderscheiden:

1. Opstellen van een CLB. Op basis van het CLB worden vragen opgeworpen.
2. Aan de hand van de vragen uit het CLB wordt een meetplan opgesteld. In het meetplan wordt een afweging gemaakt welke methoden het meest geschikt zijn om de vragen te beantwoorden. In bijlage A zijn de tools die kunnen worden overwogen gepresenteerd. In bijlage B is een voorbeeld van een matrix opgenomen, die is opgesteld voor het uitvoeren van de veldwerkkronde in fase 2 van MAXIMA.
3. Uitvoeren metingen.
4. Verwerken en interpreteren resultaten.
5. Bijstellen van het CLB en nogmaals doorlopen van bovenstaande stappen.

Uit het project MAXIMA blijkt dat door per fase van monitoring een CLB op te stellen het onderzoek gericht en efficiënter wordt uitgevoerd.

Integratie van hydrologie en geochemie

Het integreren van hydrologie en geochemie leidt aantoonbaar tot een beter begrip van de situatie. In het project MAXIMA blijkt dat door kennis van de geochemie, enkele 'zekerheden' ten aanzien van de geohydrologie moeten worden heroverwogen of herzien.

Zekerheid

Voor de case Volgermeerpolder is het niet mogelijk gebleken om door stortpercolaat beïnvloed grondwater te onderscheiden van achtergrondwater op basis van macroparameters alleen. In zijn algemeenheid kan gesteld worden dat het bepalen van de macrochemische samenstelling in een gebied met brakke afzettingen moeilijk detecteerbaar zal zijn. Wij verwachten dat deze methode in zoete milieus wel toepasbaar is. Op grond van de EM-34 metingen kunnen voor de Volgermeerpolder wel posities worden bepaald waar het extra belangrijk is om op bijvoorbeeld microparameters te monitoren.

Voorspellende waarde

Het inzicht in de processen geeft ons een beeld van wat er gaat gebeuren met verontreinigingen die mogelijk vanuit het stortlichaam naar de omgeving verspreiden. Om echt goede voorspellingen te doen is het van belang inzicht te hebben in de grootte orde van de processen. Helaas is het onderscheid in processen die we op dit moment kunnen maken met de resultaten uit het project MAXIMA zo weinig dat we hier geen inzicht in hebben.

Technische uitvoerbaarheid (flexibel meetnet)

Bij het uitvoeren van het veldwerk zijn de volgende kanttekeningen te plaatsen in relatie tot technische uitvoerbaarheid (een aantal van deze punten liggen voor de hand):

- Bij het uitvoeren van werkzaamheden op een sterk verontreinigde locatie dient altijd rekening te worden gehouden met veiligheidsmaatregelen ter bescherming van medewerkers en de omgeving. Dit beperkt de flexibiliteit van veldmetingen.
- Het uitvoeren van sondetechnieken is met name geschikt om ongestoorde grond- en grondwatermonsters te nemen. Hiermee kan een situatie worden gekarteerd. De snelheid van het passief toestromen van grondwater bepaalt in grote mate de flexibiliteit. Verder is het met sondetechnieken mogelijk om ongestoorde grondmonsters te nemen en voor het nemen van watermonsters hoeft geen standtijd in acht genomen worden.
- Isotopen onderzoek is een beloftevolle methode om een locatie te karakteriseren. Het kleine aantal partijen dat in staat is deze analyses uit te voeren staat een grootschalige toepassing van deze methode in de weg.

Verder blijkt dat veel flexibele technieken met name geschikt zijn om een situatie te karakteriseren. In het voorbeeld van de Volgermeerpolder: wij adviseren om EM-34 metingen uit te voeren rondom de hele stort. Dit zal naar verwachting een éénmalige actie zijn: wanneer de geleidbaarheid in de tussenzandlaag in het gebied van de Volgermeerpolder in 350 jaar niet is gewijzigd, is het niet waarschijnlijk dat er de komende jaren grote veranderingen in geleidbaarheid zullen optreden.

Wij concluderen dat flexibele methoden onderdeel kunnen vormen van een monitoringsstrategie, maar de traditionele methoden nooit volledig kunnen vervangen. Een combinatie van methoden heeft de voorkeur.

Toetsingskaders

Op dit moment kunnen we nog weinig zeggen over toetsingskaders, omdat we nog geen duidelijk onderscheid kunnen maken tussen schoon en beïnvloed grondwater. Wel zijn we van mening dat het werken vanuit een CLB een prima kader vormt om de resultaten te verwerken en hypothesen op te stellen en te toetsen. Als het CLB kwantitatiever wordt, kan het gebruikt worden om toetsingscriteria uit af te leiden door middel van scenario analyses (zogenaamde what if modellering).

Verantwoording

In het voorjaar van 2000 is een basisprojectplan ingediend voor dit SKB-project met als acroniem MAXIMA. In het najaar van 2000 is het projectplan ingediend en goedgekeurd, waarna we in september 2001 het contract met SKB hebben ondertekend. In mei 2001 zijn we met het project begonnen dat we in december 2002 hebben afgerond.

Het doel van dit project was de hypothese te toetsen dat het meten van macro parameters de monitoring rondom stortplaatsen effectiever maakt.

De gedachte hierachter was dat het verspreiden van stortpercolaat zou leiden tot een meetbare beïnvloeding van de macrochemie. In figuur 3 van dit rapport hebben we onze hypothese schematisch weergegeven, waarbij we de stelling hanteerden dat de macrochemische pluim vooruit loopt op de rest van de verontreiniging. Tijdens het verloop van dit project is gebleken dat het

aantonen van de uitgangshypothese bij de Volgermeerpolder niet eenvoudig is. In eerste instantie bleek het niet mogelijk om op grond van geochemische inzichten een significant onderscheid te maken in het grondwater bemonsterd uit de verschillende peilbuizen rondom de Volgermeerpolder. Met ander woorden, geochemisch gezien konden we de aanwezigheid van percolaat niet vaststellen. Dit tegenvallende resultaat heeft ons genoodzaakt andere (macro) indicatoren te gebruiken die inzicht kunnen geven in de verspreiding van stortpercolaat.

In de derde fase van het project is de aandacht met name uitgegaan naar het bepalen van de elektrische geleidbaarheid van de ondergrond en het toepassen van analyses van natuurlijk voorkomende isotopen om een (ruimtelijke) beeld te krijgen van de verspreiding van stortpercolaat. De resultaten van dit onderzoek (isotopen en halogenide analyses) laten duidelijk zien dat stortpercolaat een sterk afwijkend profiel heeft van het grondwater dat van nature voorkomt in de omgeving van de stort. In de peilbuizen uit de omgeving, die we voor dit project hebben, bemonsterd hebben we geen indicatie gevonden dat er sprake is van percolaatbeïnvloeding, hetgeen het eerdere tegenvallende resultaat verklaart: als het percolaatbeïnvloed grondwater niet voorkomt in je dataset, kun je percolaatbeïnvloeding ook niet vaststellen. De elektromagnetische metingen van de ondergrond in de omgeving van de stort geven een indicatie dat het grondwater in de tussenzandlaag een hoge elektrische geleidbaarheid heeft. Deze hoge geleidbaarheden in de ondergrond van de Volgermeerpolder vormen een sterke indicatie voor zeer lage doorlatendheden voor water van de bovenste bodemlagen in het systeem. Dit nemen we aan, doordat we deze geleidbaarheden alleen kunnen verklaren door aan te nemen dat de origine van het water ligt in de mariene ontstaansgeschiedenis van deze sedimenten. Ten tijde van afzetting was het grondwater zout. De verzoeting die na sedimentatie volgde, heeft slechts zeer langzaam plaatsgevonden. In de zones met hoge geleidbaarheden is het niet waarschijnlijk dat er sprake zal zijn van verspreiding van percolaat. Dit water is al eeuwen stagnant en er zijn geen redenen te veronderstellen dat er op korte termijn veranderingen zullen optreden. Het verminderen van de monitoringsinspanning op deze punten is een duidelijke optimalisatie van het monitoringsysteem.

Het hydrologische model die wij hanteerden voor deze locatie is niet in staat de aangetroffen geleidbaarheden te verklaren, volgens het model zou de tussenzandlaag helemaal verzoet moeten zijn. Dit resultaat heeft tot een ander conceptueel lokaal beeld geleid voor de locatie. Hiervoor zijn een tweetal mogelijkheden bedacht:

1. Het water dat via neerslag wordt aangevoerd wordt zeer snel oppervlakkig afgevoerd naar de sloten. Het grondwater in de diepte is min of meer stagnant, waardoor de verspreiding minimaal is.
2. Het water dat mogelijk infiltreert, doet dit niet homogeen, maar vindt geconcentreerd plaats op een (zeer) beperkte oppervlak. De infiltratieflux ligt vele malen hoger, waardoor de verspreidingsafstand ook vele malen hoger zal zijn. De kans dat we de precieze locatie(s) van deze infiltratie kunnen achterhalen is bijzonder klein.

Om te kijken welke van de bovenstaande hypothesen de juiste is, moeten we een waterbalans van de stort maken. Een belangrijke aanbeveling van het project MAXIMA voor de Volgermeerpolder is dan ook het zo snel mogelijk uitvoeren van metingen op en rondom de voormalige stortplaats om deze waterbalans op te stellen.

SUMMARY

MAXIMA - Maximum Insight through Macro Analysis

The point of departure for the research was the idea that increasing insight into the hydrological and bio-geo-chemical processes that occur at a site offers opportunities for the optimisation of monitoring. As regards the monitoring of spreading, this process insight is gained in a number of ways, including by measuring and interpreting the macro-chemical parameters in the groundwater – hence the title of this project: Maximum Insight with Macro Analysis, expressed as the acronym MAXIMA.

Aim of the research

The aim of project MAXIMA was to develop a method with which monitoring along the edges of (contaminated) locations can be improved. The research was conducted by Haskoning Nederland B.V. and GeoDelft, in collaboration with the end users Milieudienst Amsterdam and Shell. The project was financially supported by SKB.

The method used: working on the basis of a Conceptual Local Image (CLI)

Characterisation of a site requires the combination of a great deal of information. This involves data with differing formats, information densities and levels of accuracy. Consider historical data, physical parameters, chemical parameters and (bio)geochemical parameters. This data can be used to create a Conceptual Local Image. This gives the monitoring of locations a cyclical character, whereby the following steps are distinguished:

1. Creating a CLI. The CLI must stimulate questions.
2. A measurement plan is drawn up on the basis of the questions from the CLI. The measuring plan incorporates consideration of which methods are most suitable for the generation of answers to these questions. The tools that may be considered are presented in appendix A. Appendix B is an example of a matrix that was drawn up for the conduction of the field work round in phase 2 of MAXIMA.
3. Conduction of the measurements.
4. Processing and interpreting results.
5. Adjustment of the CLI and going through the above steps again.

The MAXIMA project revealed that creating a CLI for each phase of monitoring makes the research more focused and efficient.

Integration of hydrology and geochemistry

The integration of hydrology and geochemistry leads to a demonstrably better understanding of the situation. The MAXIMA project showed that knowledge of the geochemistry has resulted in the reconsideration or reviewing of several 'certainties' in the field of geohydrology.

Certainty

As regards the Volgermeerpolder case, it was impossible to distinguish water influenced by dump percolate from background water exclusively on the basis of macro parameters. In general, it may be said that determination of the macro-chemical composition in an area with brackish deposits will be difficult. We expect that this method will be applicable in fresh water environments. However, in the Volgermeerpolder, it is possible to determine positions where monitoring is of extra importance e.g. micro parameters on the basis of the EM-34 measurements.

Predictive value

The insight into the processes gives us an impression of what will happen to contaminants that may spread from the body of the dump to the surrounding environment. Formulation of effective

predictions rely on insight into the order of magnitude of the processes. Unfortunately, the distinctions between processes that we are currently able to recognise on the basis of the results of the MAXIMA project are so minimal that they do not provide any insight.

Technical feasibility (flexible measuring network)

As regards the conduction of the field work, we can make the following comments in relation to technical feasibility (a number of these points are obvious):

When conducting work at highly contaminated locations, account must always be taken of safety measures put in place to protect staff and the environment. This limits the flexibility of field measurements.

- The use of probing technologies is particularly suitable for the extraction of undisturbed soil and groundwater samples. This allows situations to be charted. The speed of the passive inflow of groundwater has a great influence on the degree of flexibility. In addition, probing technologies make it possible to extract undisturbed soil samples and to ignore standing time when taking water samples.
- Isotope research is a promising method of location characterisation. The small number of players able to conduct these analyses is an obstacle to the large-scale application of this method.

It has also become apparent that many flexible techniques are particularly suitable for the characterisation of situations. In the case of the Volgermeerpolder example: we recommend conducting EM-34 measurements around the entire dump area. We expect that this will be carried out on a single occasion: The fact that the conductivity in the intermediate sand layer in the Volgermeerpolder has not changed in 350 years means that it is unlikely to change significantly in forthcoming years.

We conclude that flexible methods can be components of a monitoring strategy, but that they can never completely replace traditional methods. A combination of methods is preferable.

Testing matrices

We are not currently in a position to make any substantive comments about testing matrices as we are still unable to clearly distinguish between clean and affected groundwater. However, we do believe that working on the basis of a CLI is an excellent framework for the processing of the results and creation and testing of hypotheses. When the CLI becomes more quantitative, it can be used to derive testing criteria by means of scenario analyses (what if modelling).

Accountability

In the spring of 2000, a basic project plan was submitted for this project under the acronym MAXIMA. The project plan was submitted and approved in the Autumn of 2000. This was followed by the signing of the contract with SKB in September 2001. We started the project in May 2001 and completed it in December 2002.

The aim of the project was to test the hypothesis that the measurement of macro parameters increases the effectiveness of monitoring around dumps. The thought behind this was that the spreading of dump percolate would lead to measurable effects in the macro chemistry. Figure 3 of this report illustrates our hypothesis, whereby we made the assumption that the macro-chemical plume moves ahead of the rest of the contamination. During the course of this project, it became apparent that proving the basic hypothesis is not simple at the Volgermeerpolder. In the first instance, it proved impossible to use geo-chemical insights to distinguish sufficiently between the groundwater samples taken from the various measuring tubes placed around the Volgermeerpolder. In other words, we were unable to determine the presence of percolate in terms

of geo-chemistry. This disappointing result obliged us to use other (macro) indicators that can provide insight into the spreading of dump percolate.

In the third phase of the project, particular attention was devoted to the determination of the electrical conductivity of the subgrade and the application of analyses of naturally occurring isotopes in order to create a (spatial) image of the spreading of dump percolate. The results of this research (isotopes and halogenide analyses) clearly show that the profile of dump percolate is very different to that of ground water naturally occurring in the vicinity of the dump. We did not detect any indication of the influence of percolation in the measuring tubes in the vicinity that were sampled for this project, which explains the previous disappointing result. If the groundwater affected by percolate does not occur in the data set, it is impossible to determine the influence of the percolate. The electromagnetic measurements of the subgrade in the vicinity of the dump did not give any indication that the groundwater in the intermediate sand layer has a high level of electromagnetic conductivity. This high level of conductivity in the subgrade of the Volgermeerpolder is a strong indication of extremely low levels of permeability for water in the uppermost soil layers in the system. We assume this because we can only explain this conductivity by assuming that the origin of the water lies in the marine history of development of these sediments. The groundwater was saline during the deposition period. The sweetening that followed sedimentation took place extremely slowly. It is unlikely that percolate will spread in zones with high conductivity. This water has been stagnant for centuries, and there are no reasons to assume that any change will occur in the short term. The reduction of the monitoring effort at these points is a clear optimisation of the monitoring system.

The hydrological model that we used for this location is unable to explain the conductivities that were detected. According to the model, the intermediate sand layer should contain only fresh water. This result prompted the development of another conceptual local image for the location. Two options have been devised:

1. The water that is supplied by precipitation is rapidly drained away over the surface to the ditches. The groundwater at great depth is more or less stagnant, which means that spreading is minimal.
2. The water that may infiltrate, does not do this in a homogenous manner, but is concentrated in an extremely small area. The infiltration flux is many times higher, which means that the spreading distance will also be many times greater. The chance that we will be able to ascertain the precise location(s) of this infiltration is extremely small.

To ascertain which of the abovementioned hypotheses is correct we must draw up a water balance for the dump. An important recommendation for the Volgermeerpolder by the MAXIMA project was to conduct the measurements in and around the former dump as quickly as possible in order to draw up this water balance.

HOOFDSTUK 1

INLEIDING

1.1 Achtergrond

In Nederland wordt bijzonder veel gemeten op en rondom locaties met bodemverontreiniging. Monitoring wordt in de meeste gevallen uitgevoerd met het doel te controleren dat gewenste effecten optreden, of juist dat ongewenste effecten niet optreden. Effecten die gemonitord worden zijn bijvoorbeeld de verspreiding van verontreinigingen, verandering van stijghoogte van het grondwater of het verloop van een in-situ sanering of 'Natural Attenuation'.

In dit project hebben wij ons gericht op de monitoring van verspreiding van verontreinigingen over grenzen. Als verspreiding over een gedefinieerde grens wordt waargenomen dienen er maatregelen getroffen te worden die de verspreiding teniet doen en verdere verspreiding voorkomen. Deze monitoringssystemen zijn aangelegd op een groot aantal locaties in Nederland, zoals stortplaatsen en industrieterreinen. De veranderingen in het Nederlandse bodembeleid hebben geleid tot begrippen, zoals functionele sanering en stabiele eindsituatie. Dit zal leiden tot meer locaties waar gedurende langere tijd gemeten gaat worden. De monitoring vindt veelal plaats met behulp van een vast meetnet van peilbuizen. Op vastgestelde tijdstippen worden grondwatermonsters genomen, waarin een vast pakket aan parameters wordt bepaald. Op basis van een toetsing van de meetresultaten wordt bepaald of er redenen zijn om maatregelen te treffen.

1.2 Doelstelling onderzoek

Doelstelling van het project MAXIMA is het ontwikkelen van een methode, waarmee monitoring langs grenzen van (verontreinigde) locaties kan worden verbeterd. Het onderzoek is uitgevoerd door Haskoning Nederland B.V. en GeoDelft, in samenwerking met de eindgebruikers Milieudienst Amsterdam en Shell. Het project is financieel ondersteund door SKB.

Uitgangspunt voor dit onderzoek was de idee dat toenemend inzicht in de optredende geohydrologische en biogeochemische processen op een locatie mogelijkheden biedt tot optimalisatie van de monitoring. Voor monitoring van verspreiding wordt dit procesinzicht onder meer verkregen door het meten en interpreteren van de macrochemische parameters in het grondwater: vandaar de titel van dit project: Maximaal Inzicht met Macro Analyse, aangeduid met een acroniem MAXIMA.

1.3 Probleemstelling: monitoren kan effectiever

Aan de hand van resultaten van monitoring worden vaak belangrijke beslissingen genomen met grote financiële en maatschappelijke consequenties. Denk hierbij aan een besluit om (nog geen) beheersmaatregelen te treffen. Opvallend is dat de onderbouwing van monitoring veelal gebaseerd is op vuistregels en gevoel en niet op kennis van onderliggende processen.

Zekerheid

Bij het ontwerp van monitoringssystemen dient een balans te worden gevonden tussen een zo groot mogelijke zekerheid of trefkans (effectiviteit) tegen zo laag mogelijke inspanning (efficiëntie). Dit geldt met name daar waar het gaat om potentieel eeuwigdurende monitoring.

Voorspellende waarde

Op dit moment bestaat het monitoren van (micro) verontreinigingen vooral uit het volgen van concentraties in de tijd. Daarbij komt het in zeer veel gevallen voor (hopelijk de meerderheid!) dat de concentratie van de microparameters die gemeten worden de detectielimieten niet overschrijden. Uit dit gegeven kunnen we concluderen dat de verontreiniging er niet is, wat ook de verwachting is gezien de doelstelling van de monitoring. Het meten van een tijdreeks van een concentratie op een bepaalde plaats en diepte in het grondwater geeft dus achteraf weer wat de veranderingen in de concentratie zijn geweest. De betrouwbaarheid van het vooraf voorspellen van toekomstig gedrag van de concentraties is laag, omdat de metingen niet, of slechts zeer beperkt, gericht zijn op processen in de bodem die bepalend zijn voor het gedrag van verontreinigingen. Anders geformuleerd: de toegevoegde informatie of voorspellende waarde van een meting met de huidige monitoringsmethode voor het begrip van het gedrag van het systeem is zeer beperkt.

Metten is niet altijd weten: wat is de informatiewaarde van een meting?

Door het uitvoeren van metingen ontstaat niet vanzelf 'informatie'. Een meting die slechts iets bevestigt wat we al wisten heeft slechts een beperkte informatiewaarde, de meting voegt weinig toe aan onze kennis. Metingen die gericht zijn op het kwantificeren van de in de bodem optredende processen vergroten onze kennis van het gedrag van verontreinigende stoffen in de bodem. Metingen die leiden tot toegenomen begrip van de bodemprocessen, vergroten de informatie die beschikbaar is en hebben dus toegevoegde informatiewaarde. We moeten een balans zoeken tussen bevestigende metingen en metingen die veel informatie toevoegen. Dit kan met methoden die ons vooraf in staat stellen het toegevoegde begrip van de bodemprocessen te bepalen.

Inflexibel meetnet

Het gevolg van de slechte voorspelbaarheid van het gedrag van verontreinigingen is dat er intensief gemonitord moet worden (veel meetpunten, hoge meetfrequentie). Hierbij wordt veelal gebruik gemaakt van peilbuizen. Deze methode is relatief kostbaar en inflexibel.

In een monitoringssysteem, dat gericht is op het vergroten van het inzicht in bodemprocessen, is het nodig dat de positie van een aantal meetpunten en de meetfrequentie niet bij voorbaat vastliggen. Afhankelijk van de onzekerheden moet het mogelijk zijn om gedurende de monitoring regelmatig nieuwe posities te bemonsteren. Daarnaast zijn bij een verschuiving van het zwaartepunt van monitoring van microparameters naar monitoring van macroparameters andere meetmethodes mogelijk zeer geschikt.

Toetsingskaders

Voor het interpreteren van monitoringsresultaten wordt veelal gebruik gemaakt van toetsingskaders. In deze toetsingskaders zijn concentratieniveaus van geselecteerde microparameters opgenomen. Het gebruik van concentratieniveaus van microparameters alleen is voor monitoring van processen ongeschikt. Het is ook van belang om inzicht te hebben in (veranderingen in) procesbepalende parameters, zoals redoxomstandigheden.

1.4 Opzet onderzoek

De hypothese is dat de aanwezigheid van een verontreiniging in de bodem de samenstelling van het grondwater beïnvloedt. Deze beïnvloeding is het gevolg van het optreden van fysische, chemische en biologische processen in de bodem.

Het concept dat wij willen ontwikkelen is gebaseerd op het volgen van de fysische en (bio)geochemische processen in de bodem die ons iets zeggen over de verspreiding zodat we

verspreiding al in een vroeg stadium kunnen vaststellen. De macrochemie is hiervoor cruciaal, maar ook het volgen van concentratie ontwikkelingen over een gradiënt van beïnvloed naar niet beïnvloed.

Binnen het project is gekozen om deze methodiek te ontwikkelen op basis van een case. Hiervoor is het monitoringssysteem van de Volgermeerpolder gekozen, dat op dit moment wordt ontwikkeld. In het zorgplan van de Volgermeer is een relatief traditioneel monitoringssysteem ontworpen dat gericht is op het vaststellen van verspreiding vanuit de stortplaats naar de bodem die nu nog schoon is. De case Volgermeerpolder is gekozen, omdat voor deze locatie in de afgelopen jaren al veel gegevens zijn verzameld van de grondwaterkwaliteit, er reeds een grondwatermodel beschikbaar is en een clusteranalyse is uitgevoerd van de macrochemische samenstelling van het grondwater.

1.5 Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de resultaten van de werkzaamheden uitgevoerd in het project MAXIMA. Het project is uitgevoerd in 4 fasen, waarbij in de eerste drie fasen het Conceptueel Locaal Beeld voor de Volgermeerpolder in drie cycli wordt verbeterd en aangepast. Wij willen hiermee laten zien dat monitoring, gericht op het vergroten van inzichten in de processen die optreden in een gebied, leidt tot een effectieve en efficiënte aanpak. In fase 1 is een eerste CLB (versie 1) opgesteld op basis van bestaande gegevens. In fase 2 en 3 zijn aanvullende gegevens verzameld in het veld, resulterend in CLB versie 2 en 3. De resultaten zijn per fase gerapporteerd in werkdocumenten. Deze werkdocumenten zijn opgenomen in bijlage C. In deze bijlage is tevens de database met alle beschikbare onderzoeksresultaten van alle uitgevoerde onderzoeken op de Volgermeerpolder opgenomen. Bij deze database is een toelichting geschreven.

Voorliggende rapportage is als volgt opgebouwd:

- Methodiek: het gebruik van Conceptueel Locale Beelden (hoofdstuk 2)
- Conceptueel Locaal Beeld – *versie 1* (hoofdstuk 3)
- Conceptueel Locaal Beeld – *versie 2* (hoofdstuk 4)
- Conceptueel Locaal Beeld – *versie 3* (hoofdstuk 5)
- Conclusies (hoofdstuk 6)
- Aanbevelingen (hoofdstuk 7)

HOOFDSTUK 2

METHODIEK: HET GEBRUIK VAN CONCEPTUELE LOCALE BEELDEN

De karakterisatie van de onderzoekslocatie Volgermeerpolder is in het project MAXIMA uitgevoerd vanuit een Conceptueel Locaal Beeld. Deze methode blijkt zeer effectief om complexe locaties op een gerichte wijze te onderzoeken.

2.1 Wat is een Conceptueel Locaal Beeld?

Bij het karakteriseren van een locatie moet zeer veel informatie worden gecombineerd. Het gaat hierbij om gegevens met een heel verschillend formaat, informatiedichtheid en nauwkeurigheid. Denk hierbij aan:

- historische informatie, zoals ligging oppervlaktewater, voormalige opslagtanks;
- fysische parameters, zoals bodemopbouw en geohydrologie;
- chemische parameters, zoals aard en omvang van de verontreiniging;
- (bio)geochemische parameters, de milieumomstandigheden van de bodem.

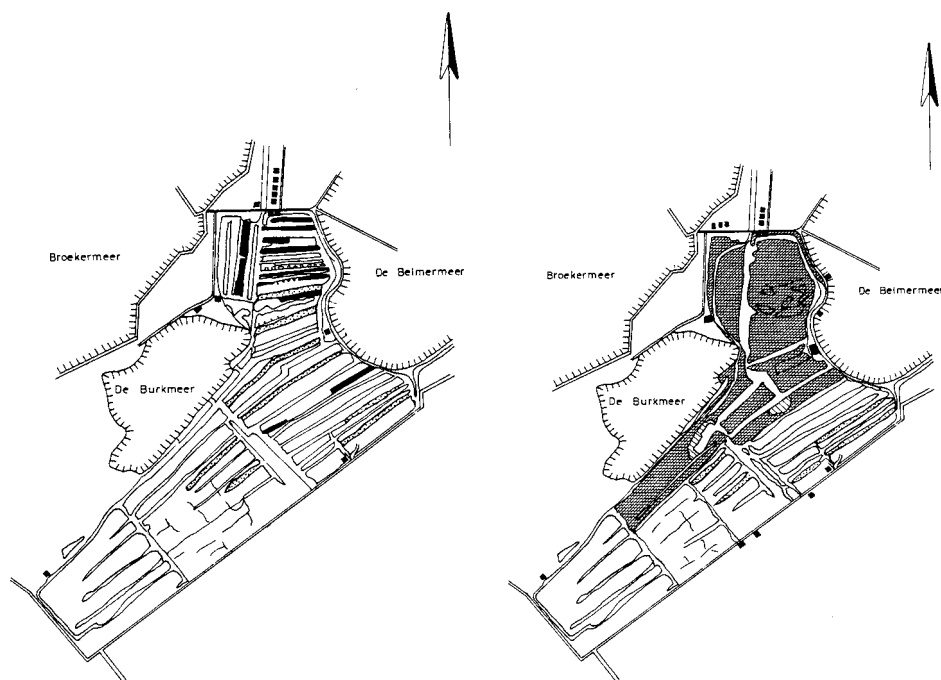


Fig. 1. Ter illustratie: ook historische informatie is belangrijk voor het vormen van een 'beeld' van mogelijke verspreidingswegen. Links de situatie van de Volgermeerpolder in 1937, waar veenwinning is weergegeven in dik zwart, gedempte sloten zijn grof gestippeld. Rechts de situatie in 1981, gestippeld zijn gedempte sloten, streep gearceerd zijn activiteiten omstreeks 1981, kruisgearceerd zijn activiteiten vóór 1981.

De combinatie van deze informatie vormt een beeld van een locatie (zie ook figuur 1). Deze representatie noemen we het Conceptueel Locaal Beeld (CLB). Amerikanen gebruiken als term Conceptual Site Model (CSM). Dit beeld kan in eerste instantie zeer eenvoudig zijn. In de meest eenvoudige vorm bestaat het uit een beschrijving van de locatie met daarbij de ligging en sterkte van de verontreinigingsbron en de richting en snelheid van de grondwaterstroming. Voor meer complexe situaties kan onder andere gebruik worden gemaakt van computermodellen. Op basis van een CLB kan worden aangegeven welke informatie de hoogste toegevoegde waarde zal leveren om onzekerheden te verkleinen.

2.2 Conceptueel Locaal Beeld en monitoring

Zoals vermeld in paragraaf 1.1 is het Nederlandse bodembeleid recent aanzienlijk aangepast. Dit zal leiden tot een toename van verontreinigde locaties waar gedurende langere tijd gemeten gaat worden. Met name door het langdurige karakter van dit type monitoring ontstaat een behoefte om het meten te optimaliseren. Optimalisatie van de monitoring kan plaatsvinden op de te bepalen parameters, het aantal te meten plaatsen en de meetfrequentie. Uit het project MAXIMA blijkt dat door per fase van monitoring een CLB op te stellen, de onderzoeker gestimuleerd wordt om zich telkens kritisch af te vragen wat, waar en waarom wordt gemeten. Het uitvoeren van metingen op basis van een Conceptueel Locaal Beeld maakt dat monitoring een cyclisch karakter krijgt. Doordat bij de interpretatie in veel gevallen gebruik zal worden gemaakt van modellen kan ook worden gesteld dat monitoren = meten + modelleren.

Het uitvoeren van een monitoring op basis van een CLB is schematisch weergegeven in figuur 2.

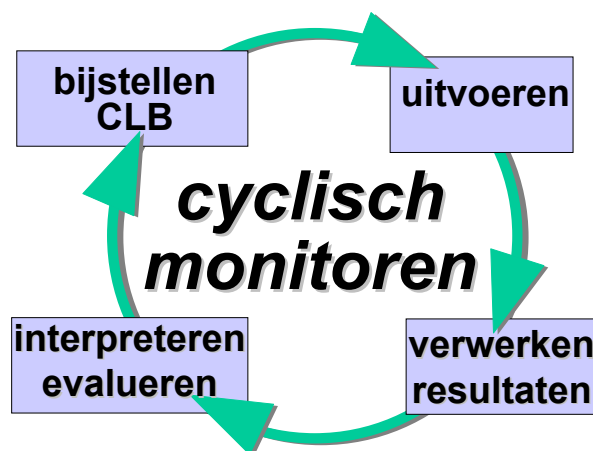


Fig. 2. Cyclisch monitoren.

2.3 Fasering implementatie monitoring

Het project MAXIMA is uitgevoerd in 3 onderzoeksfases, waarbij het eindrapport fase 4 vormt. In elke fase is een Conceptueel Locaal Beeld opgesteld van verspreiding rondom de Volgermeerpolder. Op basis van het Conceptueel Locaal Beeld zijn hypothesen gesteld ten aanzien van de verspreiding. Op basis van deze hypothesen is een meetplan opgesteld. In dit meetplan zijn aan de hand van de hypothesen verschillende meetmethoden toegepast. Van de meettechnieken, waarvoor toepassing is overwogen, is in bijlage A een productsheet opgenomen. In het project MAXIMA is het schema uit figuur 2 tweemaal doorlopen.

CONCEPTUEEL LOCAAL - BEELD-VERSIE 1

Het CLB versie 1 is opgebouwd op basis van gegevens uit voorgaande onderzoeken van de bodemopbouw, geohydrologie en geochemie. In dit hoofdstuk is het opstellen van de eerste versie van het CLB geïllustreerd aan de hand van voorbeelden van de Volgermeerpolder. Achtergrondinformatie treft u aan in bijlage C, rapportage fase 1.

3.1 Het Conceptueel Locaal Beeld voor een stortplaats

In de voorbereiding van het project MAXIMA is een conceptueel verspreidingsbeeld gegeven voor een stortplaats. Dit beeld is schematisch weergegeven in figuur 3. In dit verspreidingsbeeld is onderscheid gemaakt in de anorganische macropluim, de organische macropluim (DOC) en de micropluimen. De anorganische macropluim bestaat met name uit conservatieve stoffen en reikt het verst, de organische macropluim komt minder ver als gevolg van retardatie en afbraak en hetzelfde geldt voor de microverontreinigingen. Belangrijk is de aanname dat de verspreiding van de pluim van de organische microverontreinigingen altijd kleiner is dan of gelijk is aan de organische macropluim.

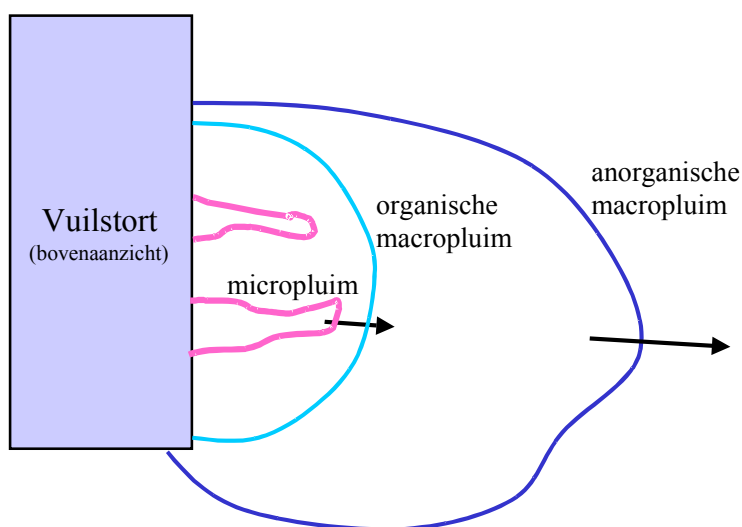
Concept verspreidingsbeeld

Fig. 3. Concept verspreidingsbeeld van micro-, organische macro- en anorganische macropluimen bij een vuilstort.

Op basis van bovenstaande hypothese kan worden geconcludeerd dat een peilbuis, die de verspreiding van een microverontreiniging vanuit een stortlichaam moet kunnen detecteren, in ieder geval in de macropluim moet staan. Het voordeel van het meten van macroparameters is dat deze voorkomen in veel hogere concentraties dan microparameters. Het totale beeld van de macrochemie in het grondwater geeft informatie over de chemische toestand van de bodem. Zo bevat de macrochemie informatie over de redoxomstandigheden die bijvoorbeeld een belangrijke rol spelen bij de microbiologische afbraak.

De verschuivingen in de gehalten aan kationen bevatten informatie over het adsorptiecomplex in de bodem. Inzicht in de mogelijke processen, gekoppeld aan metingen uit het monitoringssysteem, geeft informatie over de toestand van de bodem. Dit, gekoppeld aan de theoretische kennis van het gedrag van microverontreinigingen, onder de in de bodem voorkomende omstandigheden, maakt het mogelijk voorspellingen over dit gedrag te doen.

3.2 Historische informatie

Inzicht in de opbouw en de samenstelling van de stort hebben we verkregen uit luchtfoto's. De interpretatie van de luchtfoto's is gedaan aan de hand van zeven opnamen uit respectievelijk 1937, 1944, 1958, 1967, 1977, 1981 en 1984. De luchtfoto's zijn afkomstig van de Topografische Dienst en zijn geleverd als stereoparen. Deze stereoparen geven met behulp van een stereoscoop een driedimensionaal beeld. Op deze manier worden kleine hoogteverschillen duidelijk zichtbaar. Daarnaast is gebruik gemaakt van gegevens uit het gemeente-archief van Amsterdam. Aan de hand van deze gegevens is de geschiedenis van het storten op de Volgermeerpolder gereconstrueerd.

3.3 Bodemopbouw en geohydrologie

De bodemopbouw en geohydrologie rondom de locatie Volgermeerpolder is in voorgaande bodemonderzoeken uitgebreid onderzocht en beschreven. Op hoofdlijnen kan de bodemopbouw van de Volgermeerpolder als volgt worden geschematiseerd (tabel 1).

Tabel 1. Geschematiseerde bodemopbouw en geohydrologie Volgermeerpolder (omgeving meetraai).

Geohydrologische eenheid	Subeenheid	Diepte (m t.o.v. NAP)	KD (m ² /d)	C (dagen)
Deklaag	Hollandveen	0 tot -5,70	3	
	Zavellaag	-5,70 tot -9,60		3.900
	Tussenzandlaag	-9,60 tot -15,10	5,5	
	Basisveen	-15,10 tot -15,70		6.000
Eerste watervoerend pakket	Top van Twente	-15,70 tot -18,50	14	
		-18,50 tot -38,50	800	

Toelichting:

KD horizontaal doorlaatvermogen in m²/dag

C verticale weerstand in dagen

Voor de beschrijving van de hydrologie van de locatie is een 3D grondwatermodel beschikbaar, gemaakt met het programma MODFLOW. Aan het begin van fase 1 heeft het consortium vertrouwen in het model als basis voor het beschrijven van de grondwaterstroming.

Als belangrijke onzekerheid is de freatische afstroming van het stortpercolaat vanuit de Volgermeerpolder naar omliggende diepe polders geïdentificeerd. Het aantal metingen over deze zone is beperkt en de resolutie van het 3D model is laag. Om de processen langs een stroombaan succesvol te meten wordt besloten metingen te gaan uitvoeren in een raai loodrecht op de Volgermeerpolder. Met behulp van stroomlijnen uit het 3D grondwatermodel wordt een raai geselecteerd waar de stromingsrichting op elke diepte globaal overeenkomt met de richting van de raai. In deze raai zou het mogelijk moeten zijn om een relatie te leggen in waterkwaliteit op verschillende dieptes. De keuze valt op een raai van de Volgermeer naar de Burkmeer. De raai heeft een lengte van circa 215 meter. De positie van deze raai is geven in figuur 4.



Fig. 4. Overzicht Volgermeerpolder en plaats meetraai.

Om de exacte meetdiepte te bepalen en bij de uitwerking een directe relatie te kunnen leggen tussen de verschillende meetresultaten wordt besloten voor de meetraai een 2D grondwatermodel op te stellen. Uit het 3D grondwatermodel is een uitsnede gemaakt, waarbij de randvoorwaarden en de bodemopbouw worden overgenomen uit het 3D grondwatermodel.

3.4 Geochemie: uitvoering van een clusteranalyse

In het kader van de monitoring in 2000 is voor het grondwater rondom de Volgermeerpolder een clusteranalyse uitgevoerd. In het grondwater komt een groot aantal macroparameters voor. Deze parameters zijn onderhevig aan fysisch-chemische reacties, zoals sorptie, uitwisseling, neerslagvorming, redoxreacties, zuur / base reacties en biologische afbraak. Omdat deze reacties zeer complex zijn is het moeilijk om beïnvloeding door stortpercolaat eenduidig aan te tonen op basis van één parameter. Om een indeling in watertypen te maken zijn de gegevens van de macromonitoring verwerkt met behulp van een clusteranalyse. Hiertoe is de dataset in clusters ingedeeld met 'fuzzy c-means clustering' en zijn de clusters vervolgens geochemisch geïnterpreteerd. Bij de fuzzy c-means clustering wordt een gegevensbestand ingedeeld in een van te voren opgegeven aantal groepen. Bij deze clusteranalyse wordt ieder watermonster toegekend aan een bepaalde groep op basis van een score (ook wel membership of lidmaatschap genoemd). De clusteranalyse is uitgevoerd op basis van beschikbare analyseresultaten van grondwatermonsters die zijn verzameld in monitoring van voor 2001. Op basis van deze clusteranalyse is onderscheid in waterkwaliteit gemaakt in vijf watertypen: van niet beïnvloed tot beïnvloed grondwater. Dit onderscheid is uitsluitend gebaseerd op de fuzzy c-means clusteranalyse. Er bestaat geen procesmatige onderbouwing van dit onderscheid.

3.5 Geochemie: transportberekeningen met PHREEQC

Van de geochemie rondom de locatie Volgermeerpolder zijn uit voorgaande bodemonderzoeken relatief weinig metingen beschikbaar, waarmee een procesmatige beoordeling van mogelijke beïnvloeding door stortpercolaat valt vast te stellen.

De aanwijzingen die bestaan voor het geochemisch onderscheid van de waterkwaliteit in de omgeving van de Volgermeerpolder zijn met name gebaseerd op de clusteranalyse. Daarom zijn in

fase 1 enkele peilbuisfilters geselecteerd, waarmee PHREEQC geochemische evenwichtsberendingen zijn uitgevoerd. De sterk vereenvoudigde modelberendingen zijn indicatief en dienen in de eerste plaats om 'gevoel' te krijgen of het onderscheid in watertypen kan worden verklaard op basis van macrochemische processen. Uit de berendingen ontstaat de indicatie dat concentratieveranderingen van macroparameters in het grondwater meetbaar en significant zijn.

3.6 Vragen op basis van CLB – versie 1

Op basis van het CLB versie 1 zijn de volgende vragen naar voren gekomen:

- Meetraai. Verandering in grondwatersamenstelling onder invloed van de stort kan uitsluitend worden vastgesteld door metingen uit te voeren langs een stroombaan. Voorgesteld wordt om de metingen uit te voeren in de geselecteerde meetraai, op diepten die overeenkomen met de ligging van de stroombaan.
- Freatische grondwaterstroming. Om meer inzicht te krijgen in freatische afstroming van stortpercolaat door het talud aan randen van de Volgermeerpolder dienen gedetailleerde stijghoogtemetingen te worden uitgevoerd. Dit kan eveneens in de meetraai plaatsvinden. De hydrologische eigenschappen van het stortmateriaal zijn bepalend voor de mate van infiltratie naar de tussenzandlaag of de oppervlakkige afstroming naar het oppervlaktewater op het stortlichaam. Dit kan mogelijk visueel worden beoordeeld als in de stort wordt gegraven.
- Metingen van geochemische parameters in de waterfase. Van de geochemie zijn relatief weinig metingen beschikbaar waarmee een procesmatige beoordeling van mogelijke beïnvloeding door stortpercolaat valt vast te stellen. Om een beoordeling te kunnen uitvoeren is het van belang om op verschillende plaatsen langs de stroomlijn watermonsters te nemen en hiervan de macrochemie te analyseren. De plaats van de metingen in de raai kan mede aan de hand van het 2D-model worden bepaald.
- Metingen van geochemische parameters in de vaste fase. Het is van belang om in fase 2 grondmonsters te nemen. Op deze monsters kan een aantal analyses worden uitgevoerd, zoals bijvoorbeeld AVS en de aanwezigheid van kalk en eventueel andere mineralen.

HOOFDSTUK 4

CONCEPTUEEL LOCAAL BEELD – VERSIE 2

Achtergrondinformatie van de uitgevoerde werkzaamheden treft u aan in bijlage C, rapportage fase 2.

4.1 Meetplan

Om goede voorspellingen te doen is het van groot belang om inzicht te hebben in de grootte van processen en vooral dan de grootte van de verspreiding van stortpercolaat. Een eerste stap is het uitvoeren van metingen van de grondwatersamenstelling. Aan de hand van de vragen die zijn opgeworpen op basis van het CLB versie 1 is een meetplan opgesteld. In het meetplan is een afweging gemaakt welke methoden het meest geschikt zijn om de vragen te beantwoorden. In bijlage A zijn de tools, die zijn overwogen in het meetplan, gepresenteerd. In bijlage B is een matrix opgenomen, die is opgesteld voor deze veldwerkrondte. In dit meetplan wordt in de eerste plaats de informatiebehoefte benoemd. Op basis van deze behoefte worden de methoden beschreven, waarmee deze informatie kan worden verzameld. Vervolgens wordt de meest geschikte methode geselecteerd.

In het kader van het opstellen van het meetplan is onder andere een locatiebezoek (zie figuur 5) uitgevoerd. Doel van het locatiebezoek is om de praktische uitvoerbaarheid van de voorgestelde methode te toetsen. Als onderdeel van het meetplan is een Veiligheids- en Gezondheidsplan (V&G-plan) opgesteld.



Fig. 5. Foto van water op het maaiveld onder aan het talud in de meetraai. Dit vormt een aanwijzing dat het freatisch peil (soms) boven het maaiveld uitstijgt.

4.2 Uitvoeren van metingen

Voor het verzamelen van informatie over de bodemopbouw is uit de beschikbare methoden gebruik gemaakt van de volgende technieken:

- Voorgraven stortmateriaal en visuele beoordeling stortmateriaal;
- Piëzoconesonderingen;
- Diepe boringen en peilbuizen;
- Freatische boringen en peilbuizen;
- Stijghoogtemetingen freatische en diepe peilbuizen;
- Nemen watermonsters uit peilbuizen;
- Nemen watermonsters met Multi Grondwatermonstersonde;
- Bepaling grondwatersamenstelling in het laboratorium.

De resultaten van de metingen zijn opgenomen in de database (bijlage C).

4.3 Interpretatie bodemopbouw, gebruik 2D grondwatermodel

Gezien de geringe lengte van de meetraai (215 m) is met boringen en sonderingen een relatief constante bodemopbouw waargenomen. De bodemopbouw stemt goed overeen met de verwachte bodemopbouw. Uit de metingen van de stijghoogte blijkt dat deze globaal overeenstemt met de verwachte stijghoogte uit de grondwatermodellen (gemiddelde afwijking 13 cm). Doordat het gebied van het 2D-model samenvalt met de raai, waarover metingen zijn uitgevoerd, blijkt dat het 2D-model ongeschikt is om parameters te optimaliseren met de gemeten stijghoogten, omdat deze in het aandachtsgebied van het 2D-model te sterk beïnvloed worden door de opgegeven randvoorwaarden.

Voor de beoordeling van de grondwaterstroming wordt daarom in het vervolg van het project MAXIMA teruggegrepen naar het 3D-grondwatermodel. De toegevoegde waarde van het 2D-model blijkt beperkt: het heeft bijgedragen aan het systeeminzicht, met name ten aanzien van de freatische afstroming op de rand van de Volgermeerpolder.

4.4 Geochemische karakterisatie

Eén van de belangrijkste doelstellingen in fase 2 is het onderbouwen van de clusteranalyse van uit geochemische processen. Hierbij is onderscheid gemaakt in algemene optredende processen in de achtergrond (dat is in het hele gebied rondom de Volgermeerpolder) en een specifieke interpretatie naar processen die optreden langs de raai (mogelijk beïnvloed door stortpercolaat).

In de achtergrond blijkt dat zowel ijzerreductie als methanogenese belangrijke redoxprocessen zijn. Interpretatie van de monsters uit de raai geeft geen ander beeld dan aangetroffen bij de monsters uit de achtergrond. Hieruit kunnen we concluderen dat de geochemische processen, die in dit gebied optreden, niet of nauwelijks worden beïnvloed door stortpercolaat. De verklaring hiervoor ligt in het feit dat het milieu al van nature sterk lijkt op het milieu dat voorkomt in stortplaatsen. Dit milieu wordt gedomineerd door hoge gehalten aan opgelost organische stof en daarmee gepaard gaande lage redoxpotentialen. Bovendien worden er in de omgeving van de Volgermeerpolder hoge zoutconcentraties aangetroffen in het grondwater. De hoge zoutconcentraties in de achtergrond zijn te relateren aan het zoute zeewater waar het sediment vroeger mee in evenwicht is geweest. Op basis van een analyse van de ion/chloride ratio's lijkt het erop dat deze ratio's van de monsters uit de raai gemiddeld hoger liggen dan de ratio's van de geselecteerde monsters uit de achtergrond. De verschillen zijn echter niet echt groot.

4.5 Vragen op basis van CLB – versie 2

De informatiedichtheid ten aanzien van de geochemische gegevens is aanzienlijk vergroot. Helaas is het zo dat we nog geen goede tracer hebben gevonden die ons een duidelijke aanwijzing geeft over de mogelijke verspreiding van stortpercolaat. Daarom worden de volgende suggesties gedaan:

- Tracers. Het is niet te verwachten dat er een duidelijke parameter is te vinden in de meer traditionele parameters, zoals we die hebben gemeten in fase 2. Er moet worden gedacht aan echt conservatieve parameters die alleen in stortpercolaat voorkomen. Een mogelijk voorbeeld van een dergelijke parameter is het chloor isotoop ^{37}Cl . De fractie van dit isotoop is per definitie nul in zeewater en daarmee ook nul in de omgeving van de Volgermeerpolder. Het is te verwachten dat deze parameter afwijkt van nul in stortpercolaat, omdat er verschillende bronnen aanwezig zijn voor chloor in de stort.
- Geleidbaarheid EM-34. Een andere mogelijkheid is om de geleidbaarheid van de bodem dieper dan 6 meter te meten. Als er een sterke gradiënt van de stort naar de omgeving heerst, kan worden aangenomen dat we te maken hebben met verspreiding vanuit de stort. Komt de hoge geleidbaarheid ook op redelijke afstand van het stortlichaam voor, zonder duidelijke gradiënt naar de stort, is zeewateroorsprong een voor de hand liggende conclusie.
- Leeftijd. Probeer de leeftijd van het grondwater te schatten met tritiummetingen.

HOOFDSTUK 5

CONCEPTUEEL LOCAAL BEELD – VERSIE 3

Achtergrondinformatie van de uitgevoerde werkzaamheden treft u aan in bijlage C, rapportage fase 3.

5.1 Meetplan

Op grond van de resultaten uit fase 2 is een nieuwe versie van het CLB opgesteld. Vooral de metingen ten aanzien van de geleidbaarheid van het grondwater hebben invloed gehad op het CLB. In de omgeving van de Volgermeerpolder worden in de tussenzandlaag op veel plaatsen zeer hoge chlorideconcentraties aangetroffen. Hiervoor zijn twee (elkaar uitsluitende) hypothesen opgesteld:

1. De hoge waarden voor de EC kunnen het gevolg zijn van beïnvloeding vanuit de stort, in het algemeen wordt gevonden dat stortpercolaat verhoogde chlorideconcentraties heeft;
2. De hoge waarden voor de EC in de tussenzandlaag kunnen worden verklaard met het feit dat de sedimenten van de tussenzandlaag onder mariene omstandigheden zijn afgezet en dat daarmee het water een zeewateroorsprong heeft.

In het veldwerk van fase 3 zijn grondwatermonsters genomen uit bestaande peilbuizen en zijn EM-34 metingen uitgevoerd in de omgeving van de stort.

5.2 Onderzoek halogeniden

Op basis van de standaard macrochemie gemeten in fase 2 is geen duidelijk beeld gecreëerd van het stortpercolaat en de verspreiding naar de omgeving. De aanwezigheid van een organische en / of anorganische macropluim is niet onomstotelijk aangetoond. In de Volgermeerpolder en in de omgeving van de stort is hierom in fase 3 de concentratie van een aantal halogeniden (Cl^- , Br^- , F^- , I^-) gemeten.

Geprobeerd is op basis van verschillende concentratieverhoudingen Cl^- , Br^- , F^- en I^- een onderscheid te maken tussen grondwater afkomstig uit de stort en grondwater dat een natuurlijke oorsprong heeft. Hiervoor zijn peilbuizen geselecteerd die een hoge geleidbaarheid hebben ($\text{EC} > 4.000 \mu\text{S}/\text{cm}$). Dit zout kan twee mogelijke bronnen hebben, namelijk zout afkomstig uit de stort en fossiel zout water.

In figuur 6 zijn de concentraties voor chloride en bromide tegen elkaar uitgezet. De meeste monsters vallen tussen de beide menglijnen in en er zijn ogenschijnlijk weinig significante verschillen in de Br/Cl-verhouding voor de verschillende groepen. In de Taludgroep lijkt het of er een tweedeling is tussen de westelijke en oostelijke monsters. De westelijke monsters vallen op de Banisveld menglijn, de oostelijke monsters liggen veel meer in de richting van de zeewater menglijn. Dezelfde monsters lijken ook in fluorconcentratie af te wijken.

Alle Br^- metingen zitten onder de Br^- zeewater menglijn. Aangezien Br niet neerslaat, zal er ergens Cl^- opgelost zijn. Welke bron verantwoordelijk is voor het zout is niet bekend. In regenwater wordt verwacht dat Br^- en Cl^- in dezelfde verhoudingen voorkomen als in zeewater (dat wil zeggen de concentratie daalt, maar de verhouding verandert niet).

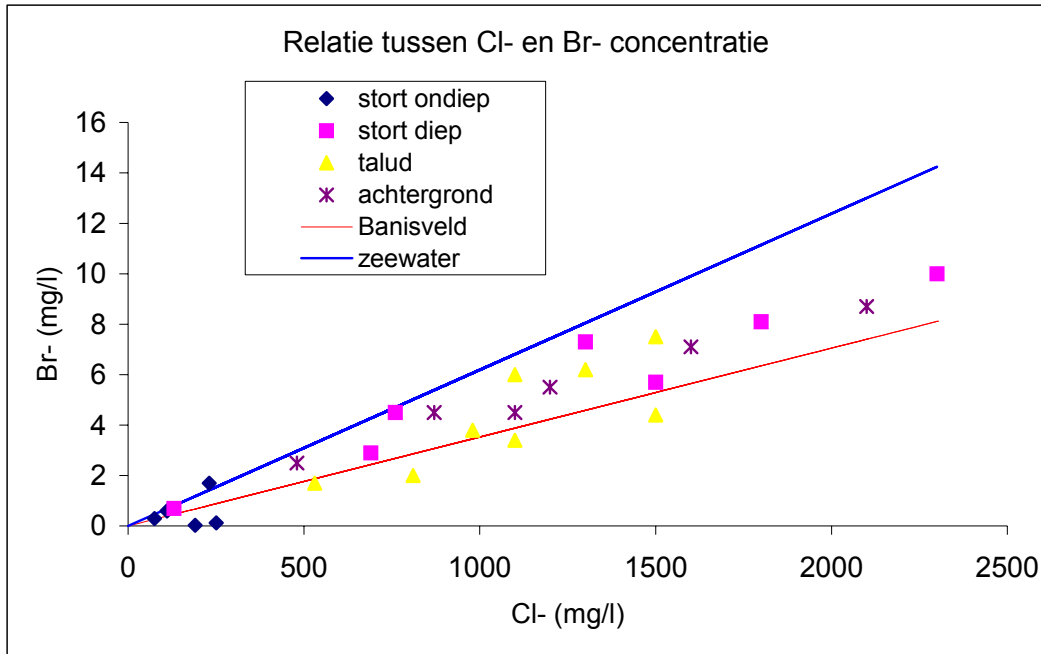


Fig. 6. Ter illustratie: relatie tussen chloride- en bromideconcentraties, gemeten in de monsters op en rondom de Volgermeerpolder, vergeleken met de verdunningslijn voor zeewater en de waarnemingen gedaan bij de Banisveld Stortplaats (pers. communicatie, B. van Breukelen).

Uit de interpretatie van de halogeniden kan een aantal conclusies getrokken worden:

- Op de stort is de chlorideconcentratie erg laag, dit duidt op een sterke verzoeting van de stort. In de filters dieper onder de stort is deze verzoeting niet aangetroffen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het hydrologisch contact tussen de stort en de onderliggende tussenzandlaag minder groot is dan verwacht. Het zoutgehalte onder de stort is in veel gevallen een factor 10 hoger als de stort zelf en wijkt niet af van de omgevingswaarden. Als de stort ooit zout geweest is, zullen deze zouten horizontaal afgevoerd zijn door de sloten.
- Op grond van de vier gemeten halogeniden kan geen duidelijk onderscheid gemaakt worden tussen de monsters buiten de stort.
- Jodide is geen bruikbare tracer om het stortpercolaat te volgen. In het stortpercolaat is de jodideconcentratie lager dan de detectielimiet. In alle andere groepen komt het daarboven voor, maar is geen duidelijk verband gevonden met de plaats of met de chlorideconcentratie. Jodide is ook niet conservatief, omdat het een essentieel element is voor organismen.
- Het lijkt erop dat de fluorideconcentratie in de stort hoger is dan daarbuiten. Op het westelijke talud komen een aantal hoge fluorideconcentraties voor, dit is mogelijk een indicatie voor horizontale verspreiding door de tussenzandlaag. De functionaliteit van deze tracer is niet overtuigend bewezen.
- De bromideconcentratie is op de stort duidelijk lager als daaronder en daarbuiten. De westelijke monsters op het talud liggen op de Banisveldlijn, de andere monsters liggen daarboven. Dit wijst erop dat bromide een geschikte tracer kan zijn.

5.3 Isotopenonderzoek

Door het isotoop ^{18}O te meten kan veel informatie verzameld worden over de herkomst van het grondwater. In fase 2 zagen we dat het onderscheid tussen brak water afkomstig van de stort en brak water afkomstig door menging van zout en zoet water moeilijk te bepalen was.

De hypothese is dat brak water afkomstig van de stort verarmd is in ^{18}O , omdat de stort een neerslag gevoed systeem is, regenwater heeft relatief weinig zware isotopen.

Tritium is een radioactief waterstof isotoop met een halfwaardetijd van 12,43 jaar. Tritium ontstaat van nature in de atmosfeer. Door kernproeven vanaf de jaren '50 liggen de hedendaagse tritiumconcentraties veel hoger (5-25 TU) als die van voor de testen (3-6 TU). Een tritiumunit komt overeen met 1 tritiumatoom op 10^{18} waterstofatomen. Tritiumanalyse is een bruikbare methode om recent geïnfiltreerd water te onderscheiden van ouder water. Als het tritium hoger is als 6 TU, is het verrijkt door de kernproeven en dus jonger dan 50 jaar. Als het tritiumgehalte lager is als 6 TU, is het water ouder dan 50 jaar.

De resultaten van de tritiumanalyses zijn weergegeven in figuur 7. In de watermonsters 213, 214, 215 en MAX13 is het tritiumgehalte hoger dan 6 TU en kunnen we spreken van recent water. Van de andere monsters (211, 213, MAX11, MAX12 en 212) kan worden aangenomen dat ze ouder zijn dan 50 jaar.

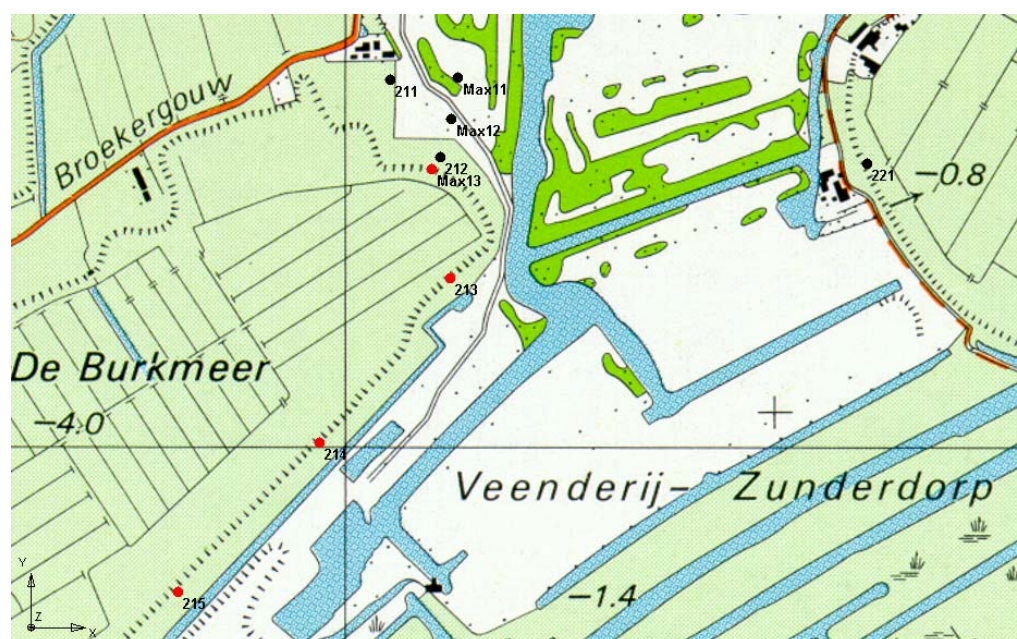


Fig. 7. Peilbuizen, waarin ^3H bemonsterd is, de rode punten zijn recent grondwater ($^3\text{H} > 6 \text{ TU}$).

Van de watermonsters die recent water bevatten is het nog niet zeker dat dit water ook uit de stort afkomstig is. Uit de EM-34 metingen blijkt dat stroming door de holocene deklaag beperkt is, behalve daar waar sprake is van een groot potentiaalverschil. In deze peilbuizen is ook een hoog fluoridegehalte aangetroffen (0,36 – 0,47 mg/l). Wat nog meer opvalt is dat deze monsters een relatief laag bromidegehalte hebben. Hierdoor is het goed mogelijk dat het door de stort beïnvloed water betreft.

Voor de monitoring van de Volgermeerpolder en mogelijk ook voor andere locaties is de analyse van tritium een interessante tracer. Indien er in de peilbuizen geen tritium wordt aangetroffen, is het onmogelijk dat de grondwaterkwaliteit beïnvloed is vanuit de stort. De metingen kunnen in de eerste plaats worden gebruikt ter verificatie van de verwachte grondwaterstroming (zie de rapportage fase 3 in bijlage C). Indien er in de peilbuizen tritium wordt aangetroffen ligt het voor de hand om in deze peilbuizen te monitoren op de aanwezigheid van verontreinigende stoffen.

5.4 EM-34 onderzoek

De EM-34 methode is gebaseerd op het meten van een geïnduceerd elektromagnetisch veld in de bodem. Met de EM-34 wordt dit veld opgewekt en gemeten met twee spoelen die op een zekere afstand van elkaar staan. Hoe verder de spoelen uit elkaar staan, hoe groter de dieptegevoeligheid. Een toelichting op het principe van EM-onderzoek is opgenomen in bijlage A.

De resultaten van de metingen zijn bewerkt in een model. Voor de bepaling van de formatiefactoren is een inverse modellering uitgevoerd met het 'Shuffled Complex Evolution Metropolis' (SCEM-UA) algoritme, recent ontwikkeld door de universiteiten van Amsterdam en Arizona [Vrugt et al. 2002]. Deze methode is een globaal optimalisatie algoritme dat gebaseerd is op Bayesiaanse statistiek.

Uit de EM-metingen blijkt overduidelijk dat hypothese 1 moet worden verworpen. Op relatief grote afstand van de stort, op plaatsen waar op grond van de topografie en hydrologie geen enkele aanwijzing bestaat dat er beïnvloeding is door stortpercolaat worden hoge tot zeer hoge EC_w -waarden geschat uit de EM-metingen, terwijl we in het stortlichaam vooral lage waarden aantreffen voor de geleidbaarheid van het percolaat.

De verklaring voor deze hoge EC-waarden moet worden gezocht in de ontstaansgeschiedenis van dit gebied, waarbij het gebied een tijdlang onder invloed van de zee heeft gestaan. Figuur 8 geeft een schematische weergave van de verschillende bodemlagen die we op dit moment hanteren voor het CLB. De onderste laag, bestaande uit het watervoerende pakket, is van pleistoocene origine en is afgezet onder zoete condities. De laag daarboven, het basisveen, is ook onder zoete omstandigheden afgezet. De zavelaag en de tussenzandlaag zijn mariene kustsedimenten en daardoor zout. Doordat het basisveen overal in dit gebied voorkomt en mogelijk een zeer lage doorlatendheid heeft, is het watervoerende pakket zoet gebleven. De bovenste laag, het hollandveen, is onder zoete omstandigheden afgezet.

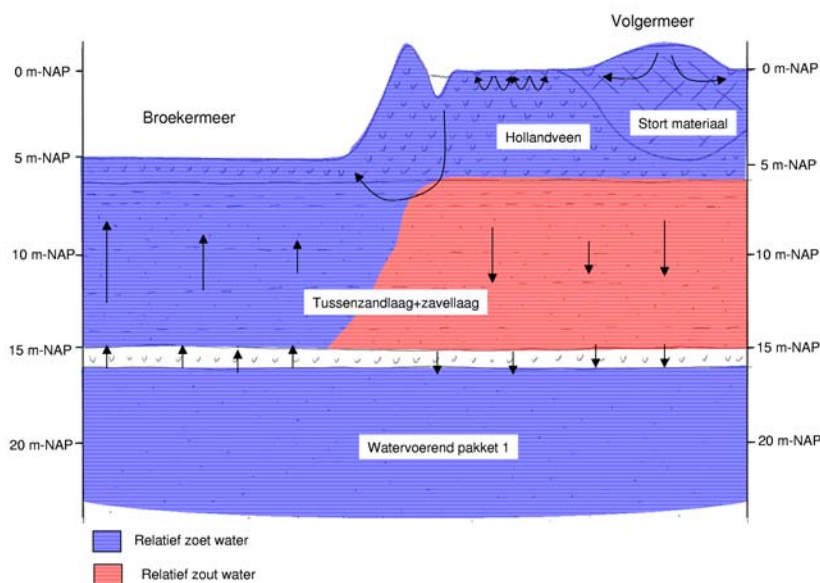


Fig. 8. Schematische weergave CLB versie 3 met daarin de verdeling van de EC_w in de zavel- en tussenzandlaag. De pijlen geven de waterfluxen aan in dit systeem.

Een complicerende factor in dit algemene beeld is het feit dat in de zavelaag en tussenzandlaag plaatsen voorkomen met veel zoeter grondwater. Uit de metingen die we tot nu toe hebben gedaan menen we te mogen concluderen dat dit zoetere water een sterke samenhang vertoont met de topografie. De topografie in dit gebied is grotendeels het gevolg van menselijk handelen de afgelopen 350 jaar. Ongeveer 350 jaar geleden is dit gebied ontveend en zijn deze gebieden vervolgens ingepolderd. Op de hooggelegen gebieden heerst een klein positief verschil in stijghoogte tussen het hollandveen en het watervoerend pakket, in de laaggelegen gebieden is dit omgeslagen in een groot negatief verschil. De doorlatendheid van het hollandveen is laag en om het gebied bewoonbaar te houden is een groot aantal ontwateringsloten gegraven. In de hoge polders wordt waarschijnlijk het grootste neerslagoverschot via dit slotennetwerk afgevoerd. Zoals in eerdere fasen is geconcludeerd kan deze aanname slechts door een sluitende waterbalans van dit gebied geverifieerd worden. In de diepere polders heerst een ander regime. Grondwater uit het watervoerend pakket kwelt op in deze polders, waardoor het zoetere water uit het watervoerend pakket de zoutere zavelaag en tussenzandlaag heeft doorspoeld en daarmee zijn deze lagen verzoet. Het zout, dat is uitgespoeld, is via de sloten en de boezems uitgeslagen.

5.5 Grondwaterstroming

In fase 2 hebben we ons geconcentreerd op een 2D-raai. Naar aanleiding van de resultaten uit fase 2 zijn we gaan twijfelen aan de juistheid van de aannames die we hiervoor gedaan hebben. In fase 3 gaan we terug naar het 3D-grondwatermodel. Met tritiumanalyses proberen we erachter te komen of de verblijftijden die het model berekent bij benadering kloppen. De tritiumanalyses kunnen worden uitgevoerd door het Centrum voor Isotopenonderzoek in Groningen. Helaas zijn deze gegevens nog niet beschikbaar.

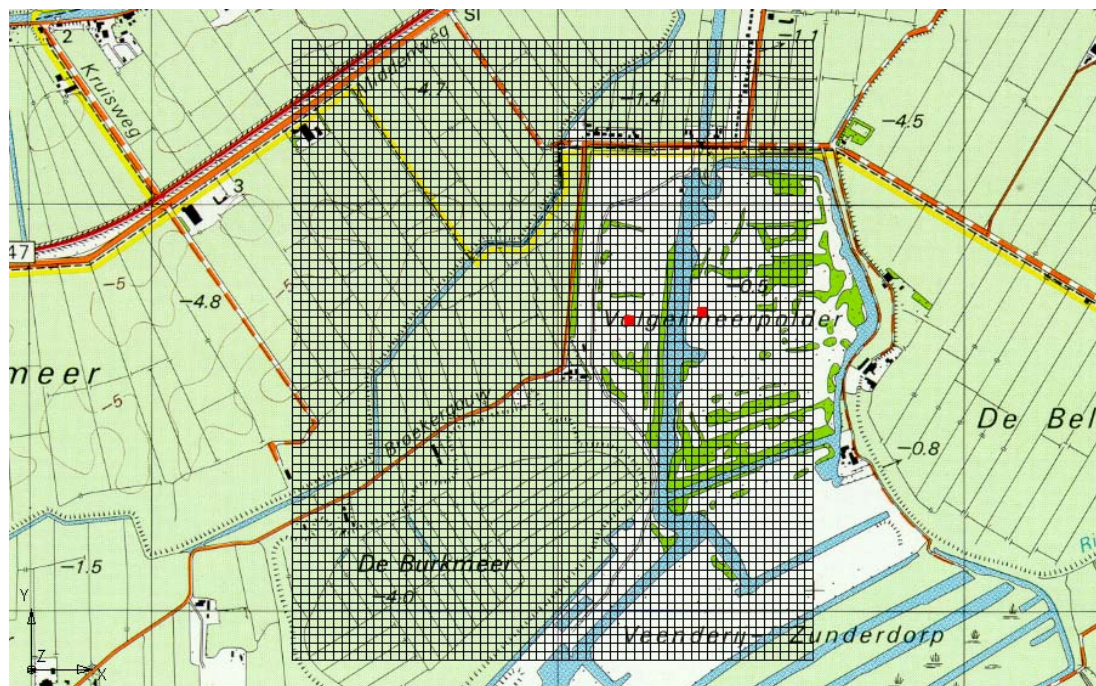


Fig. 9. Locatie en grid van het stoftransportmodel.

Met behulp van het bestaande grondwatermodel zijn een aantal indicatieve stoftransportberekeningen uitgevoerd (zie ook figuur 9). Deze berekeningen gaan uit van een hypothetische situatie, waarin de Top van Twente en de watervoerende pakketten 1 en 2 en de tussenliggende scheidende laag zoet zijn (200 mg Cl/l) en de overige lagen zout (19.000 mg Cl/l) verondersteld. De stroombanen in een verticaal profiel van de Volgermeerpolder zijn gepresenteerd in figuur 10.

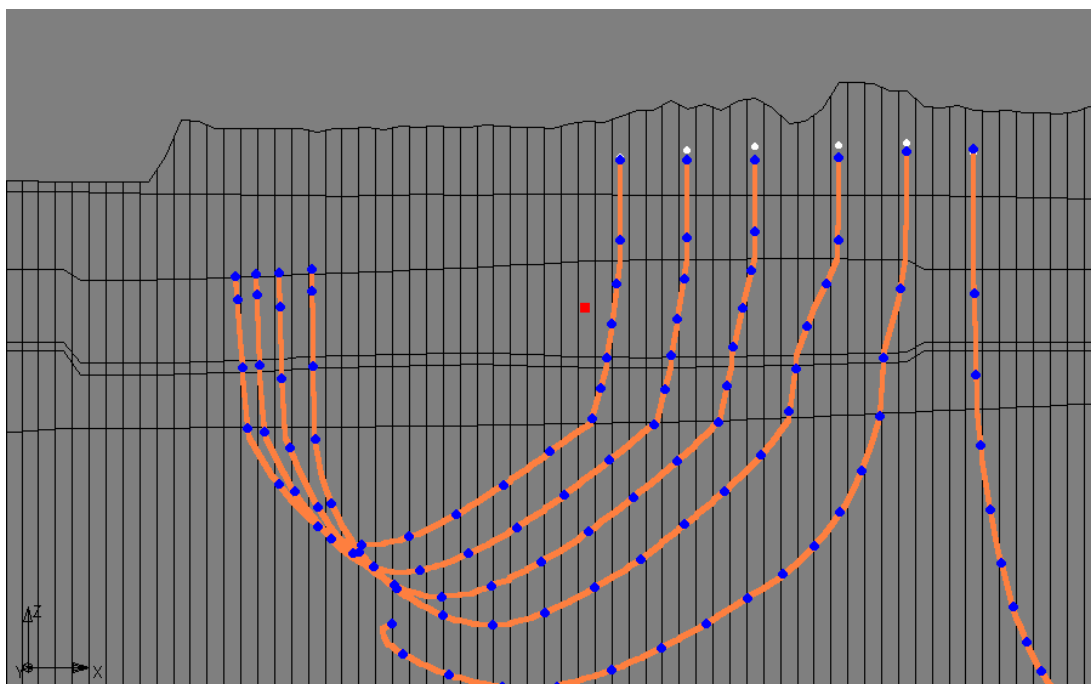


Fig. 10. Stroombanen in een verticaal profiel (verticale schaal 20 x vergroot).

In figuur 11 en 12 zijn de berekende chlorideconcentraties in een verticaal profiel na 30 en 100 jaar gepresenteerd. Na 30 jaar is de zavelaag (laag 2) onder de Volgermeerpolder geheel verzoet, na 100 jaar is het infiltrerende zoete water verdrongen tot in het eerste watervoerende pakket. Dit is niet in overeenstemming met de waarneming dat een zoet/brak grens in de tussenzandlaag aanwezig is.

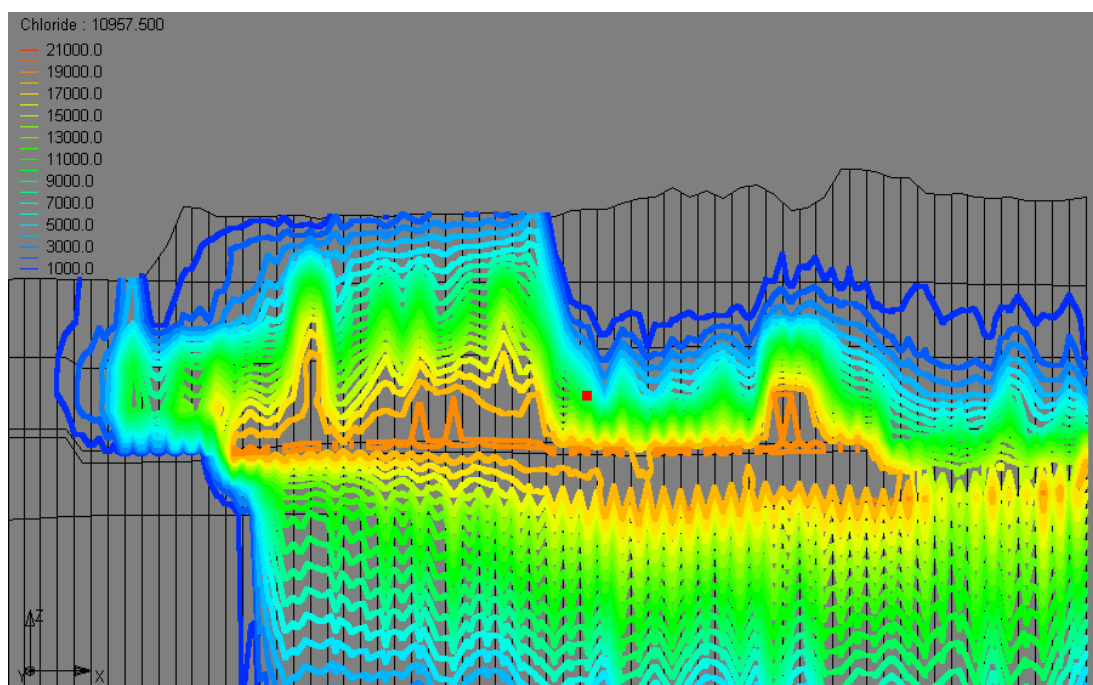


Fig. 11. Chlorideconcentraties in een verticaal profiel na 30 jaar.

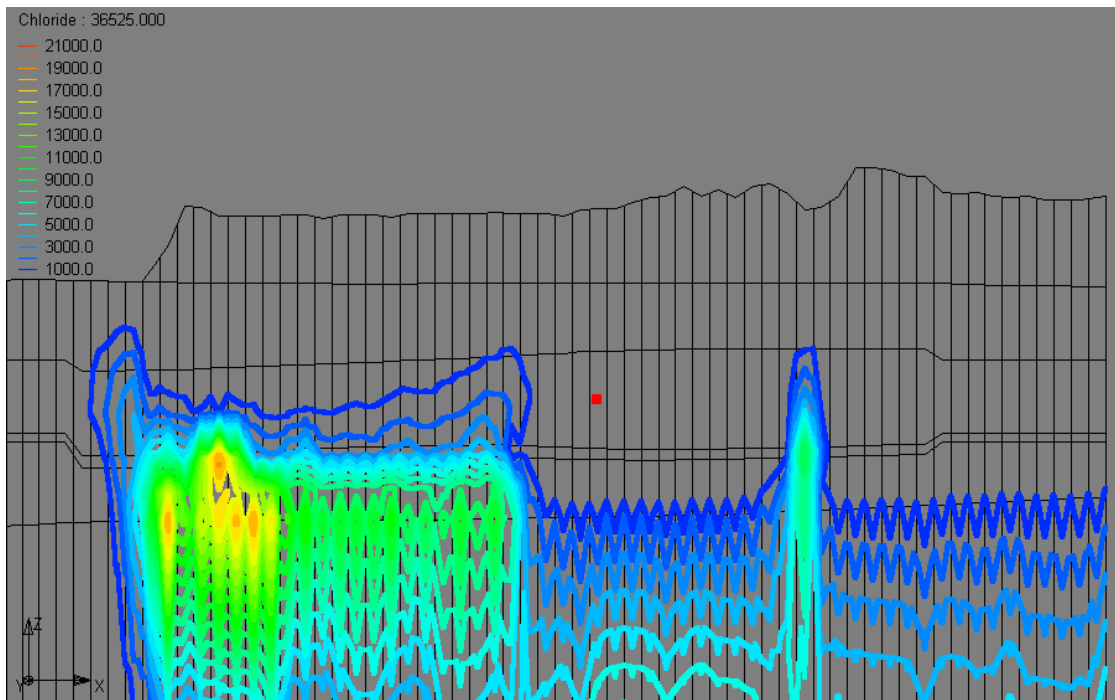


Fig. 12. Chlorideconcentraties in een verticaal profiel na 100 jaar.

Hieruit concluderen we dat het verticale transport onder de Volgermeerpolder wordt overschat. De afvoer van neerslaaanvulling vindt naar verwachting oppervlakkiger plaats. Daarom zijn met behulp van het grondwatermodel nog enkele aanvullende, indicatieve berekeningen uitgevoerd. Hierbij zijn onder andere de horizontale doorlatendheid van de tussenzandlaag en de verticale doorlatendheid van het basisveen verlaagd.

Het resultaat van deze indicatieve berekening wijkt aanzienlijk af van de oorspronkelijke stroombaanberekeningen. Figuur 13 laat zien dat het grootste gedeelte van het infiltrerende water zich verplaatst door de tussenzandlaag.

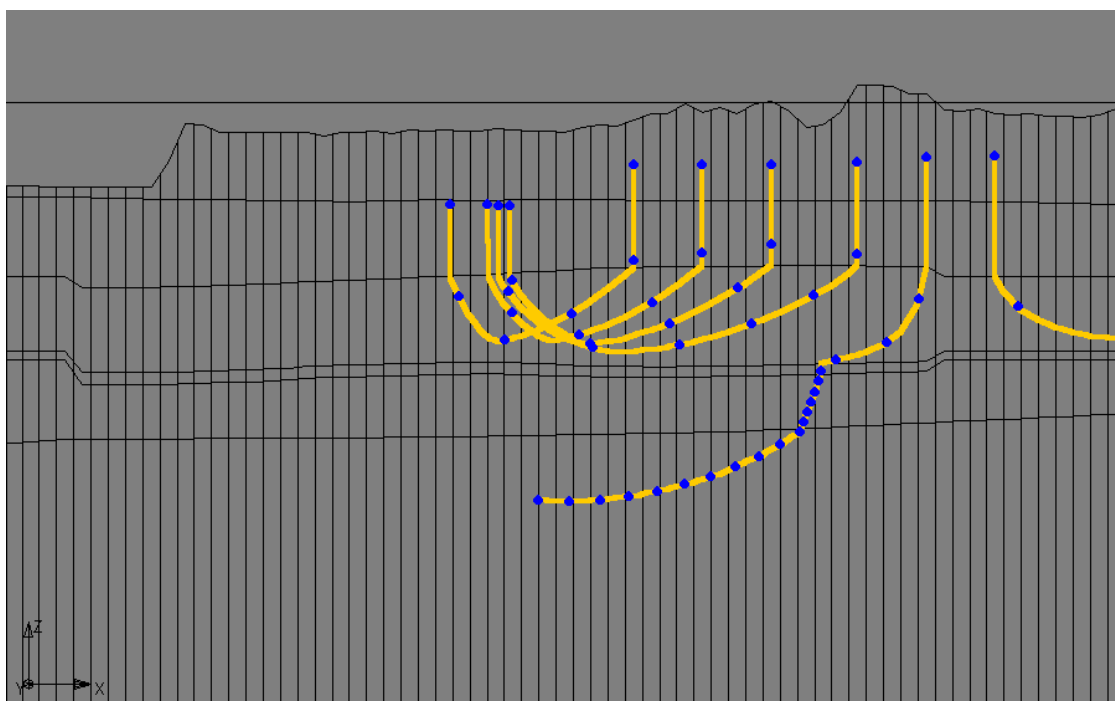


Fig. 13. Stroombanen in een verticaal profiel (verticale schaal 20 x vergroot).

Naast de afname in verticaal transport zijn ook de afgelegde horizontale afstanden aanzienlijk geringer. De tussenzandlaag wordt echter ook in deze situatie nog steeds over de hele hoogte doorstroomd en dus verzoet.

Door verlaging van de verticale doorlatendheid van het hollandveen en de zavellaag en verhoging van de horizontale doorlatendheden kan de verticale verspreiding meer in overeenstemming met de metingen worden gebracht. Omdat het transport zich steeds meer afspeelt in de bovenste drie modellagen is verfijning in de verticale discretisatie wenselijk.

5.6 Vragen op basis van CLB-versie 3

Aan de hand van de resultaten uit deze onderzoeksfase komen de volgende vragen naar voren. Deze zullen niet binnen het project MAXIMA kunnen worden beantwoord, maar vormen mogelijk voor Milieudienst Amsterdam als beheerder van de stort aanleiding om mee te nemen in een optimalisatie van de monitoring.

- Waterbalans Volgermeerpolder. De bestaande grondwatermodellen zijn met name geijkt aan de hand van de beschikbare stijghoogtemetingen. Doordat het grondwatersysteem wordt gedomineerd door polderpeilen vormt de waterbalans van de Volgermeerpolder een onzekerheid. Voor de Volgermeerpolder zijn geen in- en uitlaatgegevens beschikbaar. In een door polderpeilen gedomineerd systeem kan het kalibreren van het model op basis van stijghoogten leiden tot een onjuiste berekening van de grondwaterstroming. Een aanwijzing voor deze onjuiste berekening zijn de resultaten van de EM-metingen.
- EM-34 metingen. Op basis van de resultaten uit deze fase is het zinvol om de EM-metingen rondom het hele gebied van de Volgerpolder uit te voeren. Aanbevolen wordt om tevens enkele geleidbaarheidsonderingen uit te voeren ter onderbouwing van de gelaagdheid en formatiefactoren. De EM-resultaten zullen bijdragen aan een beter inzicht (karakterisatie) van het systeem. Het is geen geschikte methode om bijvoorbeeld jaarlijks verspreiding te monitoren.
- Ouderdomsbepaling. De resultaten van de ouderdomsbepalingen, uitgevoerd in de meetraai, dienen te worden betrokken in een eventueel volgende fase.
- Aanpassing grondwatermodel. Geheel tegen de verwachtingen in van fase 1, vormt de combinatie van hydrologie en geochemie aanleiding om te twifelen aan de betrouwbaarheid van het grondwatermodel. Het is raadzaam om aan de hand van de resultaten van het EM-onderzoek en de ouderdomsbepalingen de uitgangspunten uit het model te heroverwegen. Naar verwachting is het door de stort potentieel beïnvloede gebied kleiner en verlopen processen trager dan eerder aangenomen. Dit vormt mogelijk een onderbouwing om de meetintensiteit te verlagen en de plaats van meetpunten aan te passen.

HOOFDSTUK 6

CONCLUSIES

Voor een procesmatige onderbouwing van monitoring dienen gradiënten te worden gemeten. Als alternatief kan een raai worden gekozen, waarover gemeten gaat worden. In het project MAXIMA is aan de hand van de Volgermeerpolder gedemonstreerd hoe monitoring op basis van processen kan worden ingezet.

6.1 Werken vanuit een CLB

Bij het werken vanuit een Conceptueel Lokaal Beeld wordt de onderzoeker in elke fase geconfronteerd met de vraag waarom een meting wordt uitgevoerd, wat verwacht wordt van een meting en welke betekenis aan eventuele afwijkingen van de verwachting ten opzichte van de gemeten waarde moet worden toegekend. Een eerste versie van een CLB kan worden opgesteld op basis van bestaande gegevens. Bij het werken vanuit een CLB wordt onderzoek geïntegreerd in de monitoring. Dit zal in de eerste jaren van de monitoring een grotere inspanning (en kosten) met zich meebrengen. Dit leidt op termijn echter wel tot effectievere en efficiëntere monitoring.

Het uitvoeren van monitoring vanuit een CLB heeft een cyclisch karakter, waarbij de volgende stappen kunnen worden onderscheiden:

1. Opstellen van een CLB. Op basis van het CLB worden vragen opgeworpen.
2. Aan de hand van de vragen uit het CLB wordt een meetplan opgesteld. In het meetplan wordt een afweging gemaakt welke methoden het meest geschikt zijn om de vragen te beantwoorden. In bijlage A zijn de tools, die kunnen worden overwogen, gepresenteerd. In bijlage B is een voorbeeld van een matrix opgenomen, die is opgesteld voor het uitvoeren van de veldwerkkronde in fase 2 van MAXIMA.
3. Uitvoeren metingen.
4. Verwerken en interpreteren resultaten.
5. Bijstellen van het CLB en nogmaals het doorlopen van bovenstaande stappen.

Voordelen werken vanuit een CLB:

- Om een beeld te creëren van de werkelijkheid moet de onderzoeker een beroep doen op intuïtie en ervaring en zichzelf dwingen om vooraf hypothesen te stellen en de verwachte resultaten of inzichten vast te leggen.
- Hulpmiddel om in elke fase van onderzoek kritisch te blijven op wat wordt beoogd en wat de resultaten zijn.

Nadelen werken vanuit een CLB:

- Het stellen van hypothesen en beschrijven van verwachte resultaten kosten in het begin van het onderzoek meer tijd en geld.
- Door een bredere insteek van het onderzoek neemt de kans toe dat zijwegen worden ingeslagen, die niet direct bijdragen aan het succes van de monitoring. Het formuleren van concrete hypothesen kan dit voorkomen.

6.2 Integratie van hydrologie en geochemie

Het integreren van hydrologie en geochemie leidt aantoonbaar tot een beter begrip van de situatie. In het project MAXIMA blijkt dat door kennis van de geochemie, enkele 'zekerheden' ten aanzien van de geohydrologie moeten worden heroverwogen of herzien.

Hoewel hydrologie en geochemie onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn, blijkt dat het daadwerkelijk geïntegreerd oplossen van deze vragen moeilijk is. Dit hangt samen met achtergronden

van mensen (hydrologen en (geo)chemici) en verschillen in gebruikte tools (modellen, meetplannen).

6.3 Zekerheid

Aan het begin van dit project kon uitsluitend beschikt worden over de resultaten van de clusteranalyse. Door gericht metingen uit te voeren blijkt dat het in de situatie rond de Volgermeerpolder niet mogelijk is de gevonden clusterindeling te verklaren door het meten van de macrochemische parameters. De onderliggende processen zijn tegen de achtergrond van het natuurlijk milieu niet onderscheidend. Op dit moment is het niet mogelijk om door stortpercolaat beïnvloed grondwater te onderscheiden van achtergrondwater op basis van macroparameters alleen.

In zijn algemeenheid kan gesteld worden dat het bepalen van de macrochemische samenstelling in een gebied met brakke afzettingen moeilijk detecteerbaar zal zijn. Wij verwachten dat deze methode in zoete milieus wel toepasbaar is. Op grond van de EM-34 metingen kunnen voor de case Volgermeerpolder wel posities worden bepaald waar het extra belangrijk is om op bijvoorbeeld microparameters te monitoren.

6.4 Voorspellende waarde

Het inzicht in de processen geeft ons een beeld van wat er gaat gebeuren met verontreinigingen die mogelijk vanuit het stortlichaam naar de omgeving verspreiden. Het feit dat de omstandigheden anaëroob zijn, bevestigt het waargenomen gedrag van benzeen, naftaleen en monochloorbenzeen. Deze stoffen zijn onder anaërobe condities niet of nauwelijks afbreekbaar. Zware metalen worden waarschijnlijk vastgelegd in het stortlichaam, de zavelaag of tussenzandlaag, omdat daar waarschijnlijk sulfaatreductie optreedt en sulfiden zijn aangetoond in de vaste fase. Onderzoek naar de verspreiding van verontreinigingen aan de hand van veranderingen in macroparameters is tegen de achtergrond van mariene milieus lastig uitvoerbaar.

Om echt goede voorspellingen te doen is het van belang inzicht te hebben in de grootte orde van de processen. Helaas is het onderscheid in processen die we op dit moment kunnen maken met de monsters uit de raai zo weinig dat we hier geen inzicht in hebben.

6.5 Technische uitvoerbaarheid (flexibel meetnet)

Bij het uitvoeren van het veldwerk zijn de volgende kanttekeningen te plaatsen in relatie tot de technische uitvoerbaarheid (een aantal van deze punten liggen voor de hand):

- Bij het uitvoeren van werkzaamheden op een sterk verontreinigde locatie dient altijd rekening te worden gehouden met veiligheidsmaatregelen ter bescherming van medewerkers en de omgeving. Het flexibel uitvoeren van metingen op de verontreinigde locatie is slechts beperkt mogelijk. In de omgeving van de locatie (in dit geval buiten de stort) is deze flexibiliteit in sommige gevallen wel haalbaar.
- Het uitvoeren van sondetechnieken is met name geschikt om ongestoorde grond- en grondwatermonsters te nemen. Hiermee kan een situatie worden gekarteerd. De snelheid van het passief toestromen van grondwater bepaalt in grote mate de flexibiliteit.
- Met sondetechnieken is het mogelijk om onmiddellijk ongestoorde monsters te nemen. Bij traditionele methoden is het nemen van ongestoorde grondmonsters vrijwel niet mogelijk, en voor het nemen van watermonsters moet een standtijd in acht genomen worden.
- Isotopenonderzoek is een beloftevolle methode om een locatie te karakteriseren. Het kleine aantal partijen die in staat zijn deze analyses uit te voeren staat een grootschalige toepassing van deze methode in de weg.
- Kijkende naar de kosten, zijn sondetechnieken om grondwatermonsters te nemen aantrekkelijk indien op één locatie op meerdere diepten bemonsterd gaat worden, als de maximale

diepte 15 meter of dieper is en als de bemonsteringsfrequentie lager ligt dan één keer per jaar.

Verder blijkt dat veel flexibele technieken met name geschikt zijn om een situatie te karakteriseren. In het voorbeeld van de Volgermeerpolder: wij adviseren om EM-34 metingen uit te voeren rondom de hele stort. Dit zal naar verwachting een éénmalige actie zijn: wanneer de geleidbaarheid in de tussenzandlaag in het gebied van de Volgermeerpolder in 350 jaar niet is gewijzigd, is het niet waarschijnlijk dat er de komende jaren grote veranderingen in geleidbaarheid zullen optreden.

Wij concluderen dat flexibele methoden onderdeel kunnen vormen van een monitoringsstrategie, maar de traditionele methoden nooit volledig kunnen vervangen. Een combinatie van methoden heeft de voorkeur.

6.6 Toetsingskaders

Op dit moment kunnen we nog weinig zeggen over toetsingskaders, omdat we nog geen duidelijk onderscheid kunnen maken tussen schoon en beïnvloed grondwater. Wel zijn we van mening dat het werken vanuit een CLB een prima kader vormt om de resultaten te verwerken en hypothesen op te stellen en te toetsen. Het CLB geeft ons het inzicht dat nodig is om te weten waarop we in de toekomst onze meetinspanningen moeten focussen en welke metingen we moeten doen. Als het CLB kwantitatiever wordt, kan het gebruikt worden om toetsingscriteria uit af te leiden door middel van scenario-analyses (zogenaamde what if modellering).

Als we met het CLB duidelijke aanwijzingen hebben voor verspreiding van verontreinigingen dan kunnen we gebruik maken van bestaande toetsingskaders, zoals de S, T en I-waarden, om actiewaarden met bijbehorende acties te definiëren. Deze acties hoeven niet direct het aanleggen van een beheersmaatregel te zijn, maar kunnen ook zijn het meer in detail in kaart brengen van verspreidingsprocessen om meer maatwerkoplossingen te bedenken.

Voor de Volgermeerpolder geldt dat zolang we geen duidelijke aanwijzingen hebben voor verspreiding zullen we het CLB moeten blijven gebruiken als uitgangspunt om de metingen te toetsen.

HOOFDSTUK 7

AANBEVELINGEN

In het project MAXIMA is een aantal lessen geleerd. Op basis van deze lessen doen wij de volgende aanbevelingen:

- Uit verwarring ontstaat inzicht. Door gebruik te maken van black box achtige benaderingen, zoals een clusteranalyse, wordt de onderzoeker getriggerd om de begaanbare paden te verlaten en nieuwe wegen te zoeken.
- Het gebruik van Conceptueel Locale Beelden. Het uitvoeren van een onderzoek of het implementeren van een monitoringssysteem kan efficiënter plaatsvinden als expliciet wordt gewerkt met een systematiek van Conceptueel Locale Beelden. Het wordt aanbevolen om hierbij vragen te stellen vanuit de informatiebehoefte en van hieruit een geschikte meetmethode te selecteren en niet standaard uit te gaan van een meest voor de hand liggende of meest beschikbare methode.
- Integratie hydrologie en geochemie. In het project MAXIMA is gedemonstreerd dat voor het voorspellen van verspreiding, een goed begrip van de geohydrologie én geochemie elkaar kunnen versterken. Het ligt bijvoorbeeld voor de hand om een grondwatermodel te ijken op basis van waterbalans en stijghoogten, de geochemie kan worden gebruikt ter verificatie van het model.

Ten aanzien van de case Volgermeerpolder wordt aanbevolen om de vragen op basis van het CLB versie 3 uit te voeren (paragraaf 5.6). Het gaat om de volgende aanbevelingen:

- Waterbalans Volgermeerpolder. Door uitvoeren van gerichte metingen vaststellen van een waterbalans van de Volgermeerpolder. Dit kan worden gerealiseerd met een meetstuw op plaatsen waar nu nog een open verbinding met omliggend oppervlaktewater bestaat. Het ontbreken van inzicht in deze in- en uitstroom vormt de belangrijkste onzekerheid in de waterbalans.
- EM-34 metingen. Het uitvoeren van EM-34 metingen rondom het hele gebied van de Volgermeerpolder zal bijdragen aan een beter inzicht (karakterisatie) van het systeem.
- Tritium analyses. Middels het uitvoeren van tritium analyses kan worden bepaald of water jonger of ouder is dan 50 jaar. Als het grondwater in alle peilbuizen wordt geanalyseerd op tritium kan worden vastgesteld of er sprake is van recent of fossiel water. Als er sprake is van fossiel water zijn analyses op microparameters per definitie niet zinvol. Voor jong water zijn analyses op microparameters wel zinvol.

LITERATUUR

Vrugt, J.A., H.V. Gupta, W. Bouten, and S. Sorooshian, A Shuffled Complex Evolution Metropolis algorithm for optimization and uncertainty assessment of hydrological model parameters. Submitted to *Water Resour. Res.*, 2002a.

Vrugt, J.A., H.V. Gupta, W. Bouten, S. Sorooshian, A Shuffled Complex Evolution Metropolis Algorithm for Estimating the Posterior Distribution of Watershed Model Parameters, AGU Monograph: Advances in Automatic Calibration of Watershed Models (Eds: Duan Q., Gupta H.V., Sorooshian S., Rousseau, and Turcotte), 2002b.

BIJLAGE A

GEREEDSCHAPSKIST

Gereedschapskist

Bij het MAXIMA project hebben we een aantal technieken en methodes overwogen. Enkele hiervan hebben we gebruikt, andere hebben we van afgezien. In bijlage 2 is een matrix gegeven met mogelijke technieken en de afwegingen die we gemaakt hebben om ze wel of niet te gebruiken.

De technieken en methodes hebben we ondergebracht in de zogenaamde gereedschapskist. Van elk stuk gereedschap is een productblad opgenomen waarin kort wordt uitgelegd hoe dit te gebruiken is met betrekking tot verontreinigde locaties.

Inhoud van de gereedschapskist:

<i>Gereedschap</i>	<i>Functie</i>
a) Spitsmuis steekapparaat	Ongestoorde grondmonsters nemen
b) Chemo-sonde	Metten van de zuurgraad (pH), de redoxpotentiaal, de elektrische geleidbaarheid (EC), de temperatuur en de waterspanning
c) Bat-sonde	Doorlatendheid van de bodem bepalen
d) Multi-Grondwater monster sonde	Nemen van meerdere ongestoorde grondwatermonsters
e) Piëzocone sondering	Bepalen van waterspanning en bodemopbouw.
f) Grondradar	Metten van scherpe laagovergangen in de bodem met elektromagnetische golven
g) Multi Elektrode Geo-elektrisch Apparaat (MEGA)	Bepalen van de geleidbaarheid van de bodem met behulp van elektroden
h) Elektrische geleidbaarheidssonde	Gedetailleerd profiel van de geleidbaarheid van de bodem
i) Elektromagnetisch onderzoek (EM)	Bepalen van de geleidbaarheid van de bodem
j) Veldinspectie	Divers
k) Macrochemische analyse	Inzicht krijgen in de macrochemie in bodem
l) Historisch onderzoek	Divers
m) Fuzzy C-means Clusteranalyse	Indelen van (chemische) data in groepen door middel van multivariabele statistiek
n) Isotopen	Karakteriseren van de stort en de pluim en het bepalen van de ouderdom van grondwater
o) Halogeniden	Karakteriseren van de stort en de pluim
p) On-site analyses	Bepalen van de grondwatersamenstelling in het veld
q) Grondwatermodellen	Kwantitatief beschrijven en simuleren van de hydrologische situatie

Spitsmuis Steekapparaat

Met behulp van het zogenaamde "Spitsmuis-steekapparaat" kunnen selectief grondmonsters worden gestoken ten behoeve van chemisch-analytische en / of geotechnische beproevingen.

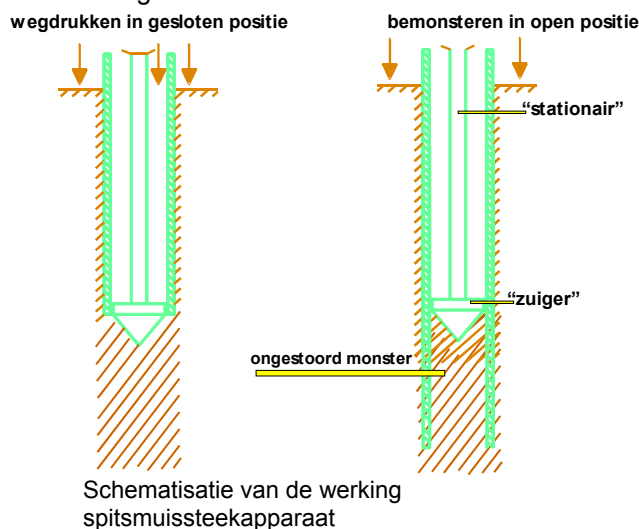
Uitvoering

Het spitsmuis-steekapparaat bestaat uit een stalen steekbuis met een inwendige diameter van $\varnothing 25$ mm of $\varnothing 66$ mm, die met een standaard sondeerbuis respectievelijk boorbuis in gesloten toestand wordt weggedrukt tot de monstertdiepte is bereikt. De diepte wordt bij voorkeur geselecteerd aan de hand van een vooraf uitgevoerde (piëzoconus)sondering.

Monstername

Op diepte gekomen, blijft de afsluitende zuiger stationair terwijl de steekbus wordt doorgedrukt. Na steken worden steekbus en zuiger als één geheel getrokken. Hiermee kan respectievelijk een maximale monsterlengte van 200 mm bij een maximaal volume van circa 100 cm^3 of een maximale monsterlengte van 700 mm bij een maximaal volume van 2.400 cm^3 worden bereikt.

Bij de steekmethode wordt geen werkwater gebruikt. Dus kan gesproken worden van een chemisch ongestoorde monstername.



Monsterklasse

De geotechnische monsterklasse die met de apparatuur bereikt kan worden is conform NEN-5119. Het volgende kan worden gesteld over de monsterklasse:

- Spitsmuis 25 mm: in cohesief materiaal klasse 2, in niet-cohesief materiaal klasse 4/5 (met core-catcher);
- Spitsmuis 66 mm: in cohesief materiaal klasse 1, in niet-cohesief materiaal klasse 3/4 (met core-catcher).

De monsterbussen kunnen eventueel worden voorzien van een zogenaamde "core-catcher" om zoveel mogelijk steekverlies te voorkomen. Het genomen monster kan direct na monsternamen uit de steekbus worden gedrukt en worden geëxtraheerd met methanol ten behoeve van de uit te voeren analyses of wat er verder maar met het monster moet worden gedaan.

Normen monsterbehandeling en verwerking

De spitsmuisbemonsteringen worden uitgevoerd aan de hand van interne werkvoorschriften. In het algemeen wordt daarbij de geotechnische norm NEN-5119 gevolgd. De bemonsterde grond wordt in het algemeen beschreven conform NEN-5104. De met het grondmonster gevulde steekbussen (voor milieukundig onderzoek van roestvrijstaal vervaardigd) kunnen ter plaatse worden afgedopt en eventueel luchtdicht geseald als geheel worden getransporteerd. Desgewenst kan ook het grondmonster ter plaatse worden uitgedrukt en overgedaan in een luchtdichte, glazen monsterpot. In beide gevallen geldt dat de monsters gekoeld bij worden bewaard tot ze voor analyse naar het behandelend laboratorium worden getransporteerd.

MAXIMA

Bij uitvoering in het MAXIMA-project zijn met succes op één locatie drie grondmonsters genomen met het spitsmuis steekapparaat. De locatie was gelegen op de stort. Aangezien de piëzoconussondering en de MultiGrondwater-MonsterSondering hier geen problemen hebben opgeleverd, is het spitsmuissteekapparaat zonder verdere voorzieningen ingezet en is de ondergrond bemonsterd.

Het spitsmuissteekapparaat wordt ingezet met 20-tons balastwagen. Dit betekent dat het terrein begaanbaar moet zijn. Het deel van de raai gelegen in de polder, was ten tijde van het veldwerk van fase 1 te drassig.

Kosten

Per dag kunnen met de grote spitsmuis zo'n 5 steken worden uitgevoerd. De kosten voor uitvoering bedragen 1.800 €/dag.

Met de kleine spitsmuis kunnen zo'n 8 steken per dag worden uitgevoerd. De kosten van uitvoering bedragen eveneens 1.800 €/dag.

Leveranciers

Leveranciers zijn: GEOMET en GeoDelft.

De Chemosonde

De Chemosonde is ontworpen voor het in situ meten van enkele macro-chemische parameters. Deze parameters worden vervolgens gebruikt om de chemische evenwichten, aanwezig in grond en grondwater, te kwantificeren.

Uitvoering

De Chemosonde bestaat uit een sondeerconus voorzien van een open filter. Achter het filter bevindt zich een meetkamer met daarin opgenomen enkele sensoren. Met deze sensoren worden de zuurgraad (pH), de redoxpotentiaal, de elektrische geleidbaarheid (EG), de temperatuur en de waterspanning gemeten.

Meting

De Chemosonde wordt in de bodem gedrukt met een ballastwagen zoals dat met een traditionele Cone Penetration Test (CPT) gebeurt. Tijdens het wegdrücken staat het filter onder een lichte stikstofdruk. Hiermee wordt voorkomen dat gronddeeltjes en grondwater door het filter naar binnendringen. Op diepte gekomen wordt de stikstofdruk weggelaten en stroomt het grondwater door het filter naar de meetkamer. Vervolgens worden de gewenste parameters in situ gemeten. Na de meting wordt de stikstofdruk weer op het filter gebracht en hiermee de meetkamer leeggemaakt. Met gedemineraliseerd water en stikstof wordt de meetkamer schoongemaakt. Vervolgens kan de conus naar een volgende diepte worden weggedrukt om opnieuw een meting uit te voeren.

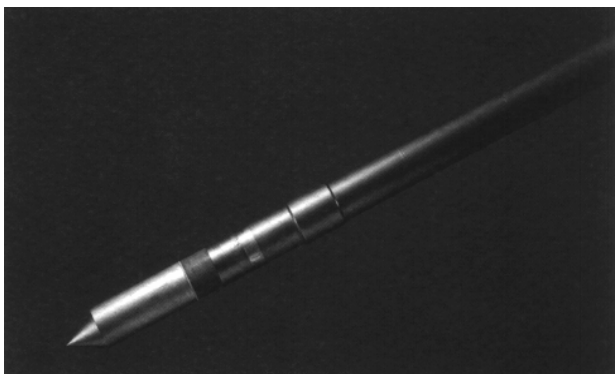
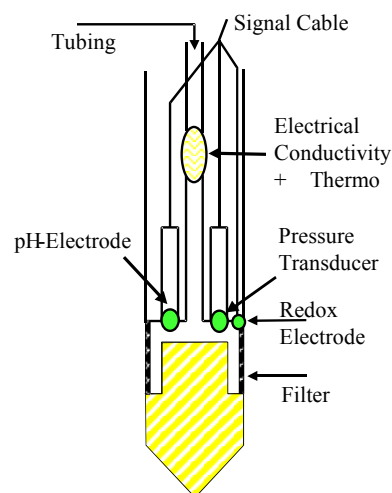


Foto van de Chemosonde

De metingen met de chemosonde worden voor temperatuurverschillen gecorrigeerd door middel van een in de sonde ingebouwd thermokoppel. Het binnenstromen van het grondwater in de chemosonde wordt gevolgd door een drukmeter die in de meetkamer is aangebracht. Hiermee wordt uiteindelijk ook de waterspanning van het grondwater gemeten.

Het meten met de chemosonde is alleen mogelijk indien er grondwater de meetkamer instroomt en de meetsignalen van pH, redox en geleidbaarheid een stabiel niveau bereiken binnen gestelde driftgrenzen (0,1 pH, 10 mV en 1 microS/cm) voor een periode van 3 minuten. Dit houdt in dat het filter geplaatst moet zijn in een waterdoorlatende bodem, bijvoorbeeld een zandlens. Het vaststellen of er op een bepaalde diepte een goed waterdoorlatende laag aanwezig is gebeurt met de inzet van een piëzoconussondering.



Meetprincipe van de Chemosonde

Voor- en nadelen

Het voordeel van de inzet van de chemosonde is dat in situ ongestoord de belangrijkste macro-chemische omstandigheden worden vastgesteld in zandige lagen. Het aantal elektroden dat kan worden ingebouwd in de chemosonde is echter beperkt. De laatste jaren zijn er meerdere sensoren beschikbaar gekomen waarmee macrochemisch relevante parameters kunnen worden gemeten. Deze metingen worden dan ook steeds meer on site uitgevoerd, eventueel met de inzet van een grondwatermonstersonde.

Kosten

Per dag kunnen zo'n 20 metingen in 1 verticaal worden uitgevoerd. De variabele kosten van uitvoering bedragen 1800 €/dag.

Leveranciers

Leveranciers zijn: GemeenteWerken Rotterdam (envirocone) en GeoDelft.

De BAT-sonde

De BAT[®]-sonde kan gebruikt worden voor het meten van de poriëndruk en doorlatendheid in slecht doorlatende lagen (tussen 10^{-6} en 10^{-9} m/s) en voor het nemen van grondwatermonsters.

Meetprincipe

De BAT[®]-sonde bestaat uit een filter en een meetapparaat. Het filter wordt weggedrukt in de grond tot de filterpunt op de gewenste diepte is gebracht. Door de holle sondeerbuis, waarmee de filterpunt is weggedrukt, wordt een monsterbuis naar beneden gelaten. Via een dubbele naald-constructie wordt contact gemaakt met het filter.



Uitvoering van de BAT-sonde

Doorlatendheidsmeting

Voor een doorlatendheidsmeting wordt de BAT[®]-sonde uitgerust met een drukopnemer op een buisje van 30 ml. De filtertip geeft dan de mogelijkheid om de doorlatendheid van de grond te meten. Het buisje wordt voor een gedeelte gevuld met water. De resterende lucht wordt via de filtertip gekoppeld aan een vat met een andere druk dan de locale waterspanning. In het geval van een lagere druk wordt water opgezogen. Bij een hogere druk wordt water in de grond

geïnjecteerd. Het drukverloop als functie van de tijd heeft een eenduidige relatie met de doorlatendheid van de grond.

Monstername

De filtertip kan ook gebruikt worden voor het nemen van grondwatermonsters. De methode is zoals beschreven bij de doorlatendheidsmeting. Om een monster te nemen dient de begindruk vanzelfsprekend lager te zijn dan de waterspanning. De aan het vat gekoppelde druksensor is optioneel maar biedt wel een grotere controle tijdens het uitvoeren van de bemonstering. Indien de inname lang genoeg wordt voortgezet, is de druk in het vat gelijk aan de waterspanning. Het watermonster, inclusief de aanwezige bodemgassen, wordt onder deze druk ontkoppeld waarna het monster geanalyseerd kan worden. Deze methode maakt het mogelijk om monsters te nemen zonder externe verontreinigingen en contact met de lucht. De monsters hebben ook een constante kwaliteit omdat de methode weinig gevoelig is voor menselijke fouten en het monster alleen in contact komt met het filter, de naald en het monsterbuisje.

Kosten

Per dag kunnen zo'n 6 grondwatermonsters worden genomen. De variabele kosten van uitvoering bedragen 1.800 €/dag.

Leveranciers

Leveranciers zijn: Fugro Milieu Consult en GeoDelft.

Multi-grondwaterMonsterSonde

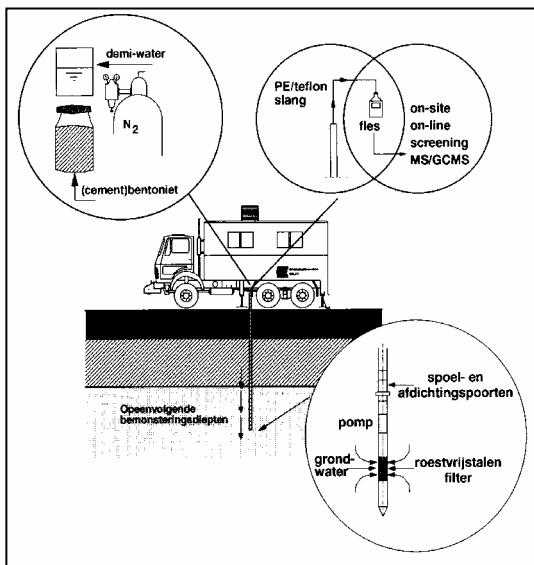
Met de Multi-GrondwaterMonsterSonde (M-GMS) kan tijdens het wegdrukken op meerdere diepten het grondwater worden bemonsterd. Het monster kan ter plekke (on-site) of in een laboratorium (off-site) worden geanalyseerd op samenstelling.

Uitvoering

De M-GMS bestaat uit een sondeerconus waarbij achter de conuspunt een roestvaststalen filter is geplaatst. Als bemonsteringsslang en afsluiters wordt PTFE (Teflon) toegepast met een diameter van 4 of 6 mm. Hiermee wordt adsorptie van vluchtige verbindingen aan het bemonsteringsmateriaal zo gering mogelijk gemaakt.

Metten

De M-GMS wordt weggedrukt met een ballastwagen. Tijdens het wegdrukken blijft het filter open. Door een overdruk aan stikstofgas aan te brengen, wordt voorkomen dat tijdens het drukken grond en grondwater het filter kan binnendringen. Nadat de sonde op diepte is gebracht, wordt de druk weggenomen en kan het grondwater toestromen. Met behulp van stikstofoverdruk en pulsklepjes wordt het grondwater opgepompt.



Principe multi-grondwatermonstersonde

Nadat het monster is genomen wordt het gehele systeem door middel van stikstofgas en gedemineraliseerd water in situ gereinigd. Vervolgens wordt het filter weer onder stikstofgas gezet en wordt de M-GMS naar een volgende meetdiepte doorgedrukt.

Injecteren bentonietmengsel

Bij het wegdrukken van de M-GMS kan (geforceerde) wrijvingsreductie worden uitgevoerd door het injecteren van een bentonietmengsel. Hiermee kunnen grotere diepten, afhankelijk van

de bodemopbouw tot wel 100 meter, worden bereikt. Het injecteren gebeurt op een halve meter achter het filter. Ook kan het injectiesysteem gebruikt worden om tijdens trekken het sondeergat af te dichten.

Voordelen

De M-GMS biedt met name voordelen als deze wordt ingezet op locaties waar zich ondiep een sterke verontreiniging bevindt en de diepte van de pluim aan verontreinigd grondwater moet worden gekarteerd. In deze gevallen is het proces van plaatsen van peilbuizen namelijk uiterst kritisch.

Andere voordelen van de M-GMS boven het gebruik van peilbuizen zijn:

- Geen gebruik werkwater;
- Afdichtende kleilagen blijven intact;
- Geen gebruik vreemde opvulmaterialen (kleikorrels, filterzand e.d.);
- Geen permeatie van verontreinigingen met een stijgbuis;
- Geen verstoring chemisch evenwicht;
- Voorpompen niet nodig;
- Te gebruiken op oppervlaktewater;
- Te gebruiken op locaties die vandalisme gevoelig zijn.

De snelheid van monsterneming is afhankelijk van de toestroming, en hangt dus af van de doorlatendheid van de bodem. Het is niet mogelijk grondwatermonster te nemen uit in slecht doorlatende bodemlagen. Het gebruik van peilbuizen verdient de voorkeur boven de inzet van de M-GMS indien op dezelfde locatie het grondwater frequent bemonsterd moet worden. Het installeren van de peilbuizen dient dan wel aan strengere eisen te voldoen. Het afpompen van peilbuizen voor monsterneming en monsterneming grondwater zijn ondergebracht in respectievelijk protocol 2001 en 2002 van de SIKB.

Maxima

Bij uitvoering in het MAXIMA-project zijn met succes grondwatermonsters genomen. Hierbij kunnen de volgende kanttekeningen worden geplaatst:

- inzetten van de MGWS op de stort is gebeurd na inzet van de puinconus. Met de puinconus is voorgeprikt over de eerste 5 meter. Vervolgens is de M-GWS ingezet.

- de doorlatendheid van de holocene deklaag in de omgeving van de Volgermeerpolder is laag. Daarom bleek het mogelijk om uit 2 sonderingen maximaal 10 watermonsters per dag te nemen. Hierdoor zijn sommige voordelen van de M-GWS weggevallen.
- door de slappe ondergrond in de omliggende polders was het niet mogelijk zonder voorzieningen de balastwagen met M-GWS in te zetten.
- niet alle gewenste parameters zijn on-site te analyseren en in verband met de beperkte

productie is van het uitkarteren van een pluim geen sprake geweest.

Kosten

Per dag kunnen 4 à 5 grondwatermonsters worden genomen. De variabele kosten van uitvoering bedragen circa 1.800 €/dag.

Leveranciers

Leveranciers zijn: Oranjewoud en GeoDelft.

Piëzocone sondering

Bij de piëzoconussondering wordt tijdens het wegdrukken van de sondeerconus de waterspanning continue gemeten. Hiermee wordt een indruk verkregen van de goed en de minder goed doorlatende bodemlagen. Aanwezige silthoudende lagen en dunne kleilagen die aanwezig zijn in een zandige formatie, worden dan vastgesteld.

Standaard sondeertechniek (CPT)

Bij de standaard sondeertechniek (cone penetration technique, CPT) wordt tijdens het wegdrukken van de sonde met een diameter van 36 mm de kracht op de conuspunt en de plaatselijke kleef gemeten. De kracht is een maat voor de mechanische weerstand. Op basis van de mechanische weerstand en de plaatselijke kleef kan vervolgens het wrijvingsgetal worden bepaald.

De mechanische weerstand biedt de mogelijkheid onderscheid te maken tussen de stevigere grondlagen (zand) en de slappere grondlagen (klei en veen). Met het wrijvingsgetal kan bij slappe grondlagen vervolgens onderscheid worden gemaakt tussen klei en veen.

Piëzoconus

Het meten van de waterspanning geeft informatie over de goed en de minder goed waterdoorlatende bodemlagen. Aanwezige silthoudende lagen en dunne kleilagen die aanwezig zijn in een zandige formatie, worden eveneens vastgesteld.

Bij bodemverontreiniging kan deze detaillering belangrijk zijn in verband met de aanwezigheid van mogelijke stoorlagen dan wel preferente stroombanen. Tevens kan worden vastgesteld of een bepaalde diepte geschikt is om er een grondwatermonster uit te nemen met de grondwatermonstersonde.

Door de geringe diameter van een sondeergat en het vermogen van de grond voor dichtvloeiën van dit gat, worden sondeergaten in het algemeen niet afgedicht. Soms is het echter wel noodzakelijk om sondeergaten af te dichten: bijvoorbeeld bij de aanwezigheid van een DNAPL (Dense Non-Aqueous Phase Liquid) zoals gechlorideerde koolwaterstoffen of als preventieve maatregel tegen kwel of tegen ontsnappen van moerasgas.

Een goede methode voor het afdichten is het aanwenden van het spoelsysteem. Dit systeem kan tijdens het trekken als injectielans fungeren. Daarbij wordt een milieuvriendelijk, opstijvend

bentonietmengsel in het gat geïnjecteerd. De samenstelling van de bentoniet kan worden aangepast om zoveel mogelijk de in situ stijfheid van de omringende grondlaag te benaderen.

MAXIMA

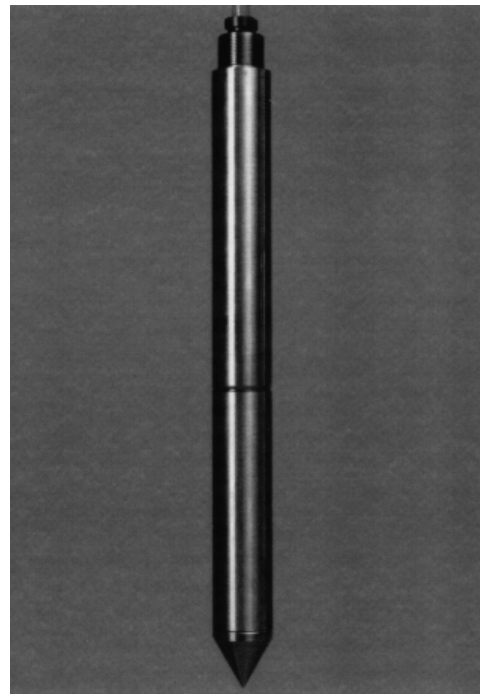
Op de Volgermeerpolder is de piëzoconussondering met succes ingezet op vier locaties. Twee locaties lagen op de stort. Met gebruik van de puinconus is eerst door het stortmateriaal voorgeprikt. Vervolgens is in het 'gat' de piëzocone geplaatst en de sondering uitgevoerd.

Kosten

Per dag kan een totale lengte van zo'n 150 worden gesondeerd: bijvoorbeeld 6 sonderingen tot 25 m diepte. De variabele kosten van uitvoering bedragen circa 2.400 €/dag.

Leveranciers

Leveranciers zijn: Oranjewoud, Fugro, MOS, GEOMET, GeoDelft en diverse anderen.



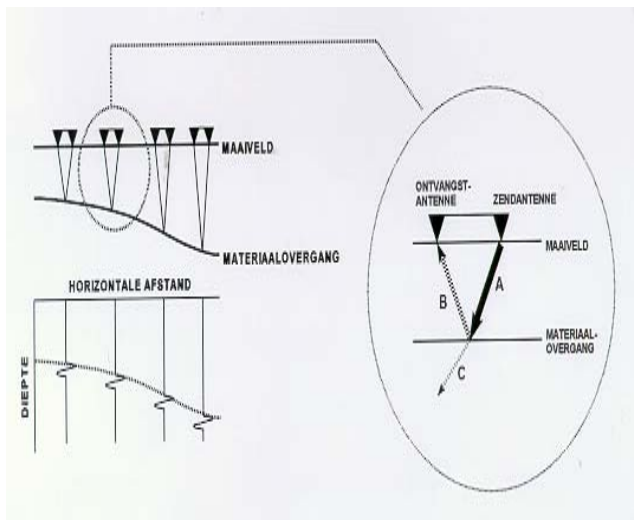
Cilindrische elektrische kleefmantelconus

Grondradar

Grondradar is een niet-destructieve onderzoeksmethode waarmee met behulp van elektromagnetische golven de ondiepe ondergrond snel en met een hoge resolutie in kaart kan worden gebracht. De elektromagnetische golven laten zich qua eigenschappen vergelijken met de elektromagnetische golven die gebruikt worden voor mobiele telefonie, radio en televisie. De eerste toepassingen van radar (radio detection and ranging) zijn terug te vinden in de luchtvaart, scheepvaart en militaire toepassingen.

Principe

Het principe van een grondradarmeting (reflectiemeting) kan als volgt worden beschreven: door een zendantenne wordt een elektromagnetische golfvorm vanaf het maaiveld uitgezonden, waarna deze golfvorm zich voortplant in de ondergrond. Bij een inhomogeniteit in de ondergrond, bijvoorbeeld het grensvlak tussen aangebracht zand en klei, dan reflecteert een deel van de elektromagnetische energie van de uitgezonden golf op deze inhomogeniteit. Na reflectie plant het gereflecteerde deel van de golf zich voort richting maaiveld en wordt de golfvorm geregistreerd door de ontvangstantenne. Het niet gereflecteerde deel van de golf reist dieper de ondergrond in.



Meetprincipe van de grondradar

Meting

Tijdens grondradarmetingen wordt de tijd gemeten tussen uitgezonden radarpuls en reflecties van laagovergangen. De voortplantingssnelheid van de radarpulsen hangt sterk af van het medium (de grondsoort of ander materiaal) waarin zij zich voortplanten. Het dieptebereik van de grondradar is afhankelijk van de frequentie van de uitgezonden elektromagnetische pulsen en van de elektrische geleidbaarheid van de ondergrond. Gangbare antennefrequenties bevinden zich in de range van

50 MHz tot 2,5 GHz. Bij gebruik van een hoogfrequente antenne is het dieptebereik beperkt, maar de nauwkeurigheid groot. Een laagfrequente antenne is geschikt wanneer grote indringing van de radarpuls in de ondergrond (meters tot tientallen meters) gerealiseerd moet worden.



Uitvoering van metingen met grondradar

Indringing

De indringing in diverse typen ondergrond kan als volgt worden gekarakteriseerd:

- droge grond: zeer goed
- vochtig zand: goed
- nat zand: redelijk - goed (in zoet milieu)
- natte klei: matig - slecht
- zout/brak water: zeer slecht
- zoet water: redelijk - goed
- ijs: zeer goed
- bevroren grond: goed

Kosten

Per dag wordt circa 100 m² gerealiseerd. De variabele kosten voor uitvoering, exclusief uitwerking en rapportage, bedragen circa 1.000 €/dag.

Leveranciers

Leveranciers zijn: TNO-NITG, MAP, T&A – Radar, GEOFOX en GeoDelft.

Multi Elektrode Geo-elektrisch Apparaat (MEGA)

Geo-elektrische metingen geven informatie over de elektrische weerstand van de ondergrond. De weerstand is indicatief voor de grondslag (zand heeft een hoge, klei en veen een lagere weerstand). In de interpretatie worden de gegevens onder meer gebruikt voor de vaststelling van de laterale uitgebreidheid en de begrenzingen van structuren zoals zandgeulen in een kleipakket.

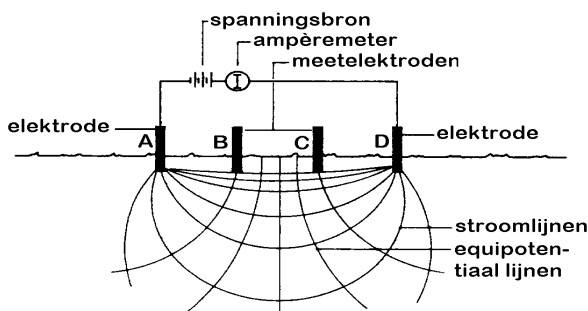
Meetprincipe

De elektrische weerstand van de ondergrond wordt bepaald door een stroom de grond in te sturen via twee elektroden en met twee potentiaalelektroden het spanningsverschil te meten.

Uitvoering

Met behulp van een Multi Elektrode Geo-elektrisch Apparaat (MEGA) worden meerdere elektrodeconfiguraties na elkaar bekrachtigd. In de standaardconfiguratie wordt met 24 potentiaalelektroden elke 2 m de potentiaalverdeling ten gevolge van een opgelegde stroom gemeten. De vijf stroomelektroden staan op een onderlinge afstand van 10 m. Ze kunnen naar keuze bekrachtigd worden. Door de stroomelektroden op verschillende onderlinge afstanden te bekrachtigen verandert de dieptepenetratie en wordt een beeld verkregen van de specifieke weerstand als functie van de indringdiepte.

De specifieke weerstand van de grond is $\rho = (\Delta V / I) * A$, waarbij A een geometriefactor is. Afhankelijk van de gekozen elektrodeafstanden wordt dan een min of meer continu weerstandsprofiel bepaald. Naast de variatie in grondslag, kunnen ook pluimen aan verontreinigd grondwater in kaart gebracht worden. Recent is de MEGA-methode succesvol toegepast voor het vaststellen van de vorm van geïnjecteerde grondlichamen.



Meetprincipe van de MEGA

Dieptebereik

Het dieptebereik van de MEGA in de standaardconfiguratie bedraagt maximaal circa 15 m-mv. De diepte neemt toe naarmate de onderlinge afstand tussen de elektroden groter wordt. De gemeten waarde is dan representatief

voor een groter bodemvolume en eventueel aanwezige inhomogeniteiten worden hierdoor "uitgemiddeld".

Werking

Via een computergestuurde schakelkast wordt een te serie stroom-elektrode-combinaties ingeschakeld. De wijze waarop de inschakeling verloopt, wordt vooraf geprogrammeerd. Bij elke combinatie wordt volautomatisch de potentiaal op elke potentiaalelektrode gemeten. Bij tracéverkenning worden de metingen aansluitend uitgevoerd door steeds een deel van de kabel (20 m) naar het andere eind te verplaatsen. Afhankelijk van het gewenste interpretatieniveau wordt de meting onbewerkt beoordeeld (pseudo-sectie), bewerkt beoordeeld als een serie opeenvolgende (Wenner)opstellingen, of wordt een volledige analyse van het geleidbaarheidsprofiel gemaakt.



Wijze van uitvoering van de MEGA.

Nauwkeurigheid

Bij een scherpe overgang van grondlagen bedraagt de nauwkeurigheid van de dieptemeting circa 5 à 10% van de diepte: op 5 m diepte dus 0,25 à 0,50 m onnauwkeurig.

Presentatie

Na interpretatie kunnen de resultaten bijvoorbeeld aan een geotechnisch profiel worden toegevoegd.

Kosten

Per dag wordt circa 800 strekkende meter gerealiseerd. De variabele kosten voor uitvoering, exclusief uitwerking, interpretatie en rapportage, bedragen circa 1.500 €/dag.

Leveranciers

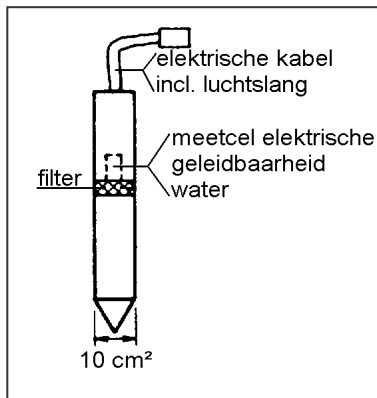
Leveranciers zijn: TNO-NITG, Fugro en GeoDelft.

Elektrische geleidbaarheidssonde

Om de elektrische geleidbaarheid van de ondergrond te meten zijn er twee sondes ontwikkeld: één om de geleidbaarheid van het water te meten (watersonde) en één voor de geleidbaarheid van de grond (grondsonde).

Watersonde

De watersonde meet de lokale elektrische geleidbaarheid van het poriewater. De sonde heeft een diameter van 36 mm en is voorzien een meetcel met een volume van 5 ml.



Op de gewenste diepte wordt de meetcel volgezogen met grondwater. Via een filter stroomt het grondwater naar de meetcel. In de meetcel wordt de elektrische geleidbaarheid van het grondwater bepaald. Na de meting wordt het water uit de meetcel geperst en wordt de sondeerconus naar een volgende diepte weggedrukt. Normaliter wordt om de halve meter de geleidbaarheid van het grondwater bepaald.

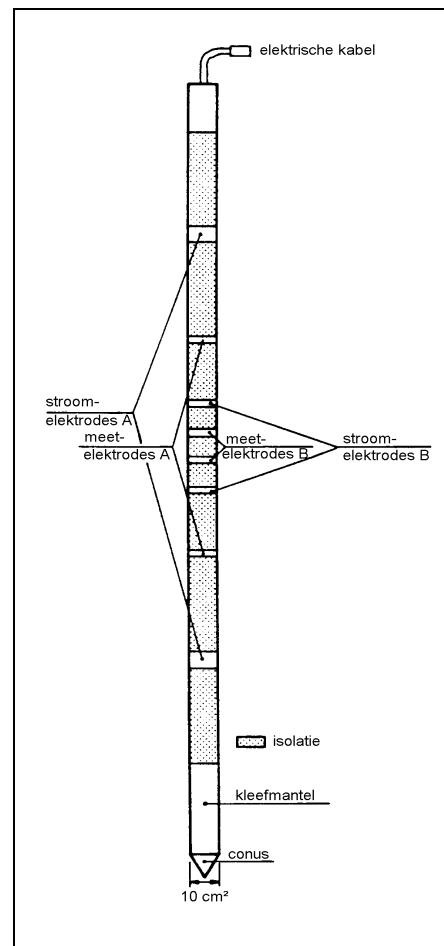
Naast het meten van de geleidbaarheid van het grondwater, kan ook de geleidbaarheid van de bodem (grond en grondwater) worden gemeten. Dit gebeurt met de grondsonde. Het combineren van beide meetgegevens kan gebruikt worden voor de vaststelling van de dichtheid (porositeit) van de (zandige) grondlagen.

Grondsonde

De grondsonde wordt gebruikt om de lokale elektrische geleidbaarheid van de bodem (grond en poriënwater) te bepalen. Daartoe wordt tijdens het wegdrücken om de twee decimeter een meting uitgevoerd. In combinatie met de watersonde wordt veelal de dichtheid van de ondergrond bepaald. De grondsonde kan verder gebruikt worden om EM-metingen te kalibreren.

De conus van de grondsonde is voorzien van twee sets elektroden. Iedere set bestaat uit vier elektroden: twee stroomelektroden en twee meetelektroden. De set met de kleinste

elektrodeafstanden meet de geleidbaarheid in de directe omgeving van de sonde (orde: elektrodeafstand). De andere set meet de geleidbaarheid in een groter volume rondom de conus. Een voordeel van de grondsonde is dat de geleidbaarheid in situ wordt gemeten. Een nadeel is dat het een puntmeting betreft. Daarom is de combinatie van grondsonde (exacte puntmeting) en EM metingen (globaal over een groot gebied) voor het in kaart brengen van de geleidbaarheid van de ondergrond zeer geschikt.



Als de samenstelling van de grond erg variabel is, dienen er grondmonsters te worden genomen (bijvoorbeeld met een spitsmuissteekapparaat) om in het laboratorium te worden beproefd. De monsters van één grondsoort worden bij verschillende dichtheden doorstroomd met een elektrolytoplossing met bekende elektrische weerstand, in de grootteorde van de gemeten waterweerstand. Uit metingen van de

grondweerstand in de meetcel volgt dan voor het betreffende materiaal een relatie tussen de porositeit n en de genoemde weerstandverhouding water / grond.

Kosten

Met de 'watersonde' kunnen per dag twee sonderingen tot 25 m diepte worden uitgevoerd. De variabele kosten voor uitvoering, exclusief uitwerking en rapportage, bedragen circa 1.300 € / dag. Met de 'grondsonde' kunnen per dag drie sonderingen tot 25 m diepte dag worden uitgevoerd. De variabele kosten voor uitvoering, exclusief uitwerking en rapportage, bedragen circa 1.300 €/dag.

Leveranciers

Leveranciers voor de 'watersonde' zijn: Fugro en GeoDelft.

Leveranciers voor de 'grondsonde' zijn: TNO-NITG, MAP, T&A – Radar, GEOFOX A.P. van den Berg en GeoDelft.

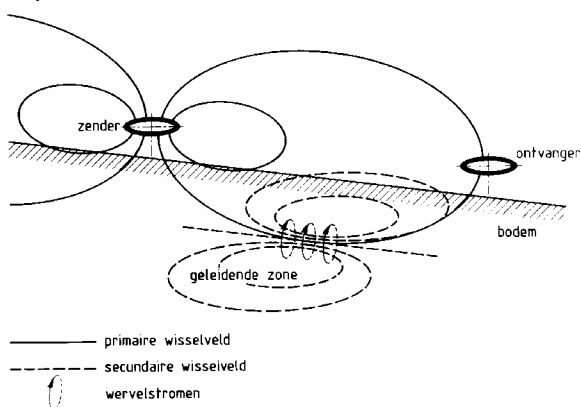
Elektromagnetisch onderzoek (EM)

Bij elektromagnetisch (EM) onderzoek wordt door middel van elektromagnetische inductie de elektrische geleidbaarheid van de ondergrond gemeten. Elektromagnetisch onderzoek is non-destructief en semi-continue (in tegenstelling tot boringen en sonderingen). Hierdoor geeft het relatief snel en goedkoop een globaal inzicht in de laagopbouw van de bodem. Ook contrasten in de elektrische geleidbaarheid, veroorzaakt door verontreinigingen en variatie in zoutgehalte van het grondwater, maar ook oude funderingen, worden gedetecteerd.

Principe

Het basisprincipe achter de toepassing van de EM-31 en EM-34 is eenvoudig. Een zendspoel aan één kant van het instrument stuurt een wisselstroom met een vastgestelde frequentie de grond in. Deze wisselstroom wekt in de ondergrond een primair magnetisch veld op. Dit primaire magnetisch veld induceert in de ondergrond kleine stromen die een secundair magnetisch veld opwekken. Het secundaire magnetische veld wordt tezamen met het primaire veld door de ontvangstspoel geregistreerd. De EM-31 en EM-34 zijn zodanig ontworpen dat het elektrisch geleidend vermogen van de ondergrond direct in milliSiemens per meter [mS/m] kan worden afgelezen.

Het geleidend vermogen van de ondergrond dat wordt afgelezen, is een zogenaamd schijnbare geleidbaarheid: het geeft een gemiddelde waarde van het elektrisch geleidend vermogen van de verschillende lagen waaruit een grondpakket is opgebouwd. De EM-31 heeft een dieptebereik tot circa 6 m – MV. De EM-34 kan afhankelijk van de spoelafstanden tot enkele tientallen meters diep reiken.



Principe van een EM-meting

Toepassing

De elektromagnetische metingen worden beïnvloed door de aanwezigheid van goede elektrische geleiders als stalen hekken, hoogspanningsmasten en elektriciteitskabels.

Deze verstoringen kunnen tijdens de interpretatiefase gemakkelijk worden herkend en bij de verwerking worden uitgefilterd.

Het voordeel van het gebruik van de elektromagnetische methode boven het traditionele grondonderzoek is de snelheid en de semi-continuïteit waarmee informatie over de bodemopbouw wordt verkregen. Het kan onder andere toegepast worden bij het verkennen van tracés voor dijken, wegen en leidingen, het in kaart brengen van pluimen verontreinigd grondwater, het opsporen van obstakels en het in kaart brengen van zandgeulen.



Uitvoering van EM-31 onderzoek op de Volgermeerpolder

Kosten

Per dag kan zo'n 5 strekkende kilometer worden afgelegd. De kosten van uitvoering bedragen circa 1.000 €/dag.

Leveranciers

Leveranciers zijn: GeoCom, Fugro, VU-Amsterdam, Royal Haskoning en GeoDelft.

Veldinspectie

Het is algemeen bekend dat veldinspectie en locatiebezoek enorm belangrijk zijn bij bodemonderzoek. Naast vele belangrijke waarnemingen gaat de locatie "leven" en wordt het begrip vergroot van de omvang van de locatie en het reliëf. In dit productblad geven we waarnemingen die mogelijk nuttig zijn. Ook geven we een aantal voorbeelden waarbij veldinspectie zijn nut heeft bewezen in het MAXIMA project.

In het veld is ontzettend veel informatie te verzamelen door alleen de locatie te inspecteren zoals:

- begroeiing van de locatie
- eventuele bestrating
- "besef" van de grootte van het gebied
- reliëf van het landschap zoals dijkes
- bebouwing
- oppervlakte water
- drainage van regenwater.
- bereikbaarheid
- begaanbaarheid
- bovengrondse leidingen
- eventueel aanwezige plasvorming

Door bovenstaande punten te inspecteren kunnen verrassingen tijdens het veldwerk voorkomen worden. De kosten die met een locatiebezoek verbonden zijn worden ruimschoots terugverdiend uit besparingen in de kosten van het veldwerk. Met eenvoudige observaties kunnen belangrijke conclusies getrokken worden met vaak evenveel waarde als dure metingen. Enkele voorbeelden:

Inspectie peilbuizen

In het kader van het MAXIMA project hebben we monsters genomen uit peilbuizen die in de jaren '80 geplaatst waren. Aangezien de stort grotendeels overwoekerd is, is een locatiebezoek gedaan om de peilbuizen te zoeken en te inspecteren of ze nog werkten. Dit was nuttige informatie want inderdaad werkten niet alle peilbuizen meer en sommige peilbuizen waren zeer lastig te vinden omdat ze overwoekerd waren door bomen en struiken. Het voordeel van het locatiebezoek was dat we tijdens de monsternamen niet verrast werden en er tijd was het meetplan aan te passen op de werkende en aanwezige peilbuizen.



Voorgraven in stortmateriaal

Aangezien boren in de stort niet mogelijk is door het aanwezige grove puin en afval, is er met een kraan een gat in de stort gegraven. Hierin plaatsten we

mantelbuizen waarin peilbuizen geplaatst konden worden.



Bij het graven van het gat in de stort is de volgende informatie verzameld:

- De samenstelling van het stortmateriaal bestaat met name uit glas, plastic en hout (zie foto).
- De dikte van het stortmateriaal ter plaatse van de ontgraving bedraagt 3 tot 5 meter.
- De toestroming van water naar de ontgraving is zeer sterk. De horizontale doorlatendheid van de stort wordt daarom hoog geschat.
- Aan de onderzijde van het stortlichaam bevindt zich een grijze, verkitte laag. De weerstand van deze laag is naar verwachting hoog.

Hoe het niet moet

Tijdens het uitvoeren van sonderingen in de Burkmeer kwamen we erachter dat de locatie niet bereikbaar was voor een zware sondeerwagen. De grond was zo drassig dat de wagen ver zou wegzakken in het veen. Dit aspect is in de voorbereiding 'even' over het hoofd gezien. Door vooraf de locatie te inspecteren, hadden we dit waargenomen en het meetplan hierop kunnen aanpassen of een alternatief kunnen verzinnen.



Macrochemische analyse

Macrochemische analyses van grond en grondwater geven inzicht in de chemische omstandigheden die heersen in de bodem. Met de resultaten van macrochemische analyses is het mogelijk om inzicht te krijgen in de redox toestand, welke minerale evenwichten er aanwezig zijn etc. Door monsters te nemen in een ruimtelijke context is het ook mogelijk om inzicht te krijgen in het optreden van processen in samenhang met mogelijke stromingspatronen van het grondwater in de ondergrond.

Principe

De bodem is een chemisch reactief systeem. Inzicht in de macrochemische samenstelling van grond en grondwater is belangrijk voor het vaststellen welke chemische processen een belangrijke rol in de ondergrond spelen. Bij het beoordelen van het risico dat gepaard gaat met de aanwezigheid van verontreiniging in de ondergrond zijn deze chemische processen van essentieel belang. Als de gegevens zijn verzameld in een ruimtelijke context, kan in samenhang met stromingsdata het optreden van dynamische processen worden bepaald. Processen die afgeleid kunnen worden uit goede macrochemische bepalingen zijn onder meer:

- Oplossing en neerslag van mineralen
- Verzoeting en verzouting
- Kation uitwisseling
- Sorptie / Desorptie

- Dominante redoxreacties
- Transport
- Afbraak

Uitvoering

In het algemeen worden grond en / of grondwatermonsters genomen in het veld. Deze monsters worden volgens geldende richtlijnen geanalyseerd in het laboratorium. Mogelijke parameters met het doel waarvoor ze geanalyseerd zijn, zijn weergegeven in tabel 1. Aangezien conservering voor kationen en anionen verschilt, worden verschillende monsterverpakkingen en conserveermiddelen gebruikt. Tijdens transport en opslag kan de samenstelling van de monsters veranderen door uitdamping en / of neerslagvorming. Door de ionbalans te controleren kan deze fout ontdekt worden.

tabel 1 Macrochemische parameters en het doel van deze metingen

Parameter	Doel	Opmerking
Na ⁺	Mineralogie, verzoeting, uitwisseling, ionbalans	
K ⁺	Mineralogie, verzoeting, uitwisseling, ionbalans	
Ca ²⁺	Mineralogie, verzoeting, uitwisseling, ionbalans, zuurbuffering	
Mg ²⁺	Mineralogie, verzoeting, uitwisseling, ionbalans	
Al ³⁺	Mineralogie, verzoeting, uitwisseling, ionbalans, zuurbuffering	alleen relevant bij zure omstandigheden (pH <4)
H ₂ SiO ₄ ⁰	Mineralogie,	
HCO ₃ ⁻ , CO ₃ ²⁻	Mineralogie, verzoeting, ionbalans, zuurbuffering	let op uitdamping
SO ₄ ²⁻	Mineralogie, redox, ionbalans	
Cl ⁻	Verzoeting, transport, ionbalans	
NH ₄ ⁺	Verzoeting, redox, afbraak, uitwisseling	
NO ₃ ⁻	redox, afbraak	
Fe _{opgelost}	redox, mineralogie	micro
Mn _{opgelost}	redox mineralogie	micro
S ²⁻	redox, mineralogie	micro
CH _{4,opgelost}	Redox	let op uitdamping
EC	Verzoeting, transport, ionbalans	
Eh	Redox	
PH	Mineralogie	
O _{2,opgelost}	Redox	let op oplossing
Br ⁻	Transport	
DOC	redox, transport	

Interpretatie

De gegevens kunnen op vele manieren worden geïnterpreteerd. Om processen te identificeren is het van belang een goed conceptueel kader op te stellen waarmee de gegevens geïnterpreteerd kunnen worden. Met behulp van computer programma's zoals PHREEQC is het mogelijk om snel op verzadiging indexen etc. te screenen. Voor het beoordelen van de redox situatie zijn een aantal beoordelingskaders ontwikkeld (o.m. in het

NOBIS project Beslissingondersteunend model Natuurlijke Afbraak).

Bij ruimtelijke data is het ook een mogelijkheid om de gegevens in te delen in groepen met fuzzy c-means clustering of andere statistische methoden. Door de gegevens in de ruimtelijke samenhang te beoordelen kunnen wellicht dominante processen achterhaald worden.

Voorbeelden van toepassing

In het NAVOS NA project zijn nabij en onder 80 stortplaatsen grondwatermonsters genomen en geanalyseerd op macroparameters. Uit de interpretatie van de macrochemische blijkt het mogelijk peilbuizen benedenstrooms van de stortplaatsen te onderscheiden van peilbuizen bovenstrooms.

Om te bepalen of Natuurlijke afbraak van gechloreerde ethenen mogelijk is wordt de redox situatie ingeschat door de redox bepalende parameters uit tabel 1 te meten.

In het MAXIMA project op de Volgermeerpolder is gebleken dat de geleidbaarheid van het grondwater gebruikt kan worden om te bepalen of er sprake is van een sterke beïnvloeding van de samenstelling van het grondwater door stortpercolaat (verzoeting) of juist niet. Bij een sterke verzoeting is de flux en hiermee de kans op verspreiding groter. Dit is belangrijke informatie voor het beoordelen of monitoring op verspreiding van microverontreinigingen zinvol is of juist niet.

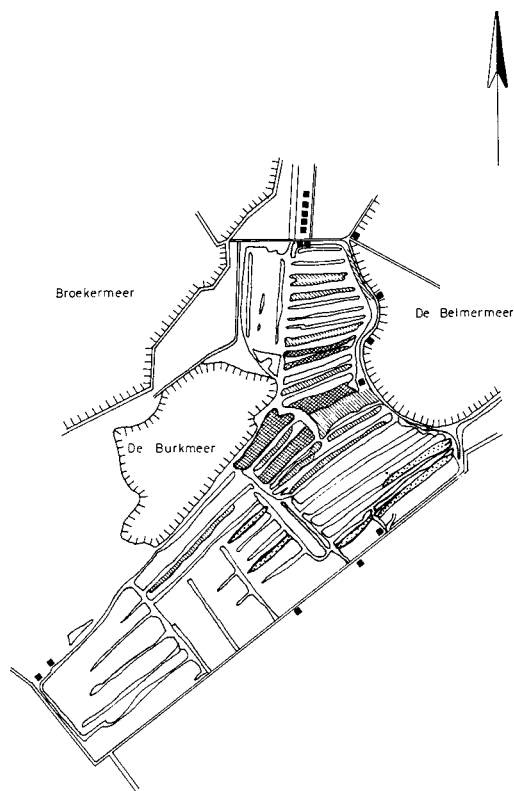
Historisch onderzoek

Enkele voorbeelden van historisch onderzoek in de Volgermeerpolder

Bij alle bodem- en milieuonderzoeken is het essentieel dat er gedegen historisch onderzoek wordt uitgevoerd. Ook voor het project MAXIMA op de Volgermeerpolder is historisch onderzoek verricht. Hierbij zijn luchtfoto's gebruikt, is de geologische atlas geraadpleegd en is informatie aangevraagd bij diverse instanties. Hieronder geven we een aantal voorbeelden welke gegevens verzameld kunnen worden uit historisch onderzoek.

Luchtfoto's

Tijdens de diverse onderzoeken die zijn uitgevoerd zijn een aantal luchtfoto's geïnterpreteerd. Van de Volgermeerpolder zijn luchtfoto's bekeken die gemaakt zijn in 1937, 1944, 1958, 1967, 1977, 1981 en 1984. Uit deze luchtfoto's is de volgende informatie gehaald:



Interpretatie luchtfoto uit 1944: dik zwart is veenwinning, grof gestippeld zijn gedempte sloten

- Veenwinning: Op luchtfoto's is te zien dat in 1944 de veenwinning nog in volle gang is in de Volgermeerpolder. De brede sloten in de Poppendammerweeren zijn dan al gegraven.
- Aanvang storten: in 1937 zijn er nog geen stortactiviteiten zichtbaar, in 1944 echter al wel. De brede sloten, ontstaan door veenafraving worden gevuld met afval dat met boten aangevoerd wordt.
- Voortgang storten. Op de luchtfoto's is te zien in welke tijd op welk deel is gestort. Dit is levert belangrijke informatie op omdat het meest gevaarlijke afval in de jaren '70 gestort

is. Het afval dat in de jaren '50 is gestort bestaat uit relatief ongevaarlijk huisvuil.

- Begroeiing van de stortplaats. Delen van de stortplaats zijn na het storten weer begroeid. Dit geeft aan dat het afval al weer een tijd geleden gestort is. De aard van de begroeiing (bomen struiken of gras/kruid) geeft aan hoe lang het is geleden.
- Manier van storten. Op de foto's is te zien wanneer er in het water wordt gestort en wanneer droog. Ook is te zien dat delen van de stort zijn afgedekt met baggerspecie.

Geologische atlas

- Bestudering van de geologische atlas geeft informatie over het afzettingmilieu van de verschillende lagen. We kwamen er achter dat juist de lagen die in zout water afgezet zijn, nu ook zout zijn. Hieruit hebben we geconcludeerd dat verzoeting heel langzaam gaat in de omgeving van de Volgermeer.
- Uit de paleogeografie van Amsterdam en omgeving kan afgelezen worden wanneer het gebied rond Amsterdam droog gevallen is en dus zoetwater afzettingen krijgt waarbij de zoutwater (wadden) afzettingen langzaam verzoetten.

Gegevens Hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen.

- Bij Hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen is informatie opgevraagd over het tijdstip van inpoldering. Voor de inpoldering van de diepe polders waren de potentiaalverschillen relatief beperkt. De inpoldering heeft een grote invloed gehad op de grondwaterstroming. Significante verzoeting van de zoute wadden afzettingen is waarschijnlijk pas begonnen na inpoldering.

Fuzzy C-means Clusteranalyse

Fuzzy C-means clusteranalyse (FCMC) is een multivariabele statistische methode waarmee grote groepen data eenvoudig in (overlappende) clusters met gelijke eigenschappen kunnen worden ingedeeld. Deze methode is nuttig bij het uitvoeren van een eerste interpretatie van zeer grote datasets. Door de gegevens te clusteren kunnen algemene patronen in de datasets onderscheiden worden waardoor we weer door de bomen het bos kunnen zien. Het combineren van FCMC met de ruimtelijke ligging van gegevens maakt het in veel gevallen mogelijk om proceshypothesen ten aanzien van de cluster indeling op te stellen. Deze proceshypothesen vormen dan het uitgangspunt voor een verdere analyse van de gegevens.

Methodiek

FCMC is een multivariabele statistische methode dat vooral gebruikt wordt om patronen in datasets te herkennen. De methode is een blackbox methode omdat we apriori geen kennis aanwezig veronderstellen t.a.v. de gegevens in de dataset. In het geval waar wij FCMC toepassen gaat het vooral om patronen te herkennen bijvoorbeeld in de verschillen in herkomst van grondwatermonsters als gevolg van verontreiniging of verschillende geochemische processen. Deze verschillen leiden tot een grote variatie in watersamenstelling en / of waterklassen. Door watertype te koppelen aan de positie waar het grondwatermonster is genomen, krijgen we inzicht in het effect van de optredende processen in de ruimte.

In FCMC zijn overlappende clusters toegestaan. Elk monster behoort in meer of mindere mate tot alle clusters, de mate wordt weergegeven in een zogeheten lidmaatschap dat kan variëren tussen 0 en 1. De theoretische achtergrond voor de FCMC methode kan worden gevonden in Bezdek (1981) en Vriend et al. (1988), Frapporti et al. (1993).

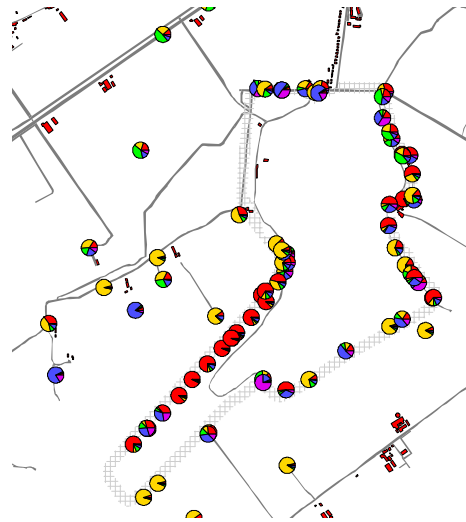
Aanpak

Voordat we aan de FCMC analyse beginnen moeten we de gegevens voorbereiden. Het is van belang dat meer dan 50% van de analyseresultaten boven de detectielimiet liggen, uitbijters zijn verwijderd, en we inzicht hebben of de gegevens normaal dan wel log normaal verdeeld zijn. Het resultaat van de FCMC analyse is voor elk monster een reeks van lidmaatschappen voor elk cluster. Met behulp van een GIS koppelen we de clusters aan de meetpunten en geven de resultaten op een kaart weer. Figuur 1 geeft een overzicht van de clusteranalyses op de Volgermeer.

Voorbeelden van toepassing

FCMC is breed toegepast. Op het gebied van stortplaatsen is FCMC toegepast in de natuurlijke afbraak studie in het kader van het landelijke NAVOS project. Hierbij zijn macroparameters bemonsterd bij 80 voormalige stortplaatsen. Hierbij is FCMC vooral gebruikt om te kijken of er een onderscheid is te maken tussen peilbuizen die rondom de stortplaatsen stonden. Op grond van de black-box indeling van de clusters spraken we een verwachting uit over welke peilbuizen zijn

bemonsterd gezien de samenstelling van de cluster en de ligging van de peilbuis ten opzichte van de stortplaats. Deze methode bleek bijzonder goed te werken. Afwijkingen tussen verwachte positie en clusterindeling zijn aanleiding geweest om de positie te controleren. Sommige bovenstroomse (niet beïnvloedde) peilbuizen bleken fout geplaatst te zijn en toch in stortmateriaal geplaatst te zijn.



Figuur 1. Voorbeeld van een kaart met piecharts die lidmaatschappen weergeven van verschillende clusters van grondwatermonsters genomen in de ondiepe filters rondom de Volgermeerpolder.

Op de Volgermeer is FCMC toegepast bij de eerste beoordeling van de macroparameters, zie figuur 1. Opvallend zijn de rode piecharts aan de westkant van de stort. In het MAXIMA project was deze observatie aanleiding geweest om dieper in de mogelijkheden te duiken die het meten van de macrochemische parameters ons bieden om de monitoring rondom verontreinigde terreinen te verbeteren. Aan het einde van het MAXIMA project blijkt dat de cluster indeling een sterke overeenkomst heeft met het laatste Conceptueel Lokaal Beeld waarbij we veronderstellen dat juist op de posities van de rode piecharts uit de clusteranalyse we te maken zullen hebben met een relatief sterke infiltratie situatie.

Isotopen

Het gebruik van isotopen analyses bij verontreinigde locaties

Analyse van Isotopen is een hulpmiddel dat goed te gebruiken is bij de verspreiding van verontreinigingen vanuit stortplaatsen. Stabiele isotopen kunnen gebruikt worden omdat de concentratie van een bepaald isotoop in het stortpercolaat anders kan zijn dan de achtergrondwaarde. Ook kunnen transportprocessen, zoals diffusie zorgen voor afwijkende isotopen samenstelling. Radioactieve isotopen kunnen gebruikt worden om grondwater te dateren. In het SKB kennisdocument SV-206 wordt een uitgebreid overzicht gegeven van alle isotopen die bij bodem en grondwaterverontreinigingen gebruikt worden. Voor het MAXIMA project hebben we vier isotopen overwogen: ^2H , ^{18}O , ^{37}Cl en ^3H . Uiteindelijk hebben we zowel ^3H als ^{18}O gemeten in diverse monsters.

^2H en ^{18}O

Stabiele isotopen kunnen gebruikt worden als ze in de stortplaats in een verschillende samenstelling voorkomen als in de achtergrond. ^2H en ^{18}O komen in zeewater in hogere concentraties voor dan in zoet water. Dit is het gevolg van fractienatie bij verdamping, lichte isotopen verdampen gemakkelijker. Dit principe is gebruikt bij het MAXIMA project om onderscheid te maken tussen stortpercolaat en achtergrond concentraties. De hypothese hierbij is dat zout water uit de stort een regenwater oorsprong heeft, het lost zout op in de stort (bv keukenzout uit huisvuil) en infiltreert. Het zoute water in de omgeving is een restant van oud zeewater.

Bij het MAXIMA project hebben we van de stabiele isotopen alleen ^{18}O gemeten. Door vorming van methaan wordt de concentratie ^2H sterk beïnvloed. Zowel op de stort als in de omgeving van de stort is veel methaan productie, hiermee wordt het een complex te interpreteren parameter.

^{37}Cl

Dit stabiele chloride isotoop kan gebruikt worden om stortpercolaat te onderscheiden van de achtergrond. Hiervoor is het nodig dat de bron van chloride verschillend is, en dat deze bronnen verschillen in isotopen samenstelling. Veel stortplaatsen hebben door keukenzout oplossing een verhoogde chloride concentratie. In de omgeving van de Volgermeerpolder worden ook veel hoge zoutconcentraties aangetroffen. Hierdoor is de percolaatpluim niet onderscheidend op grond van chloride alleen.

Zeewater heeft per definitie een gemiddelde ^{37}Cl concentratie. In keukenzout is de concentratie ^{37}Cl hoger door fractionatie bij de vorming van NaCl , ^{37}Cl slaat makkelijker neer dan ^{35}Cl (het algemene Cl isotoop). Hierdoor kan met ^{37}Cl dit onderscheid wel gemaakt worden. Helaas worden ^{37}Cl analyses niet

uitgevoerd op commerciële basis in Nederland. Om deze reden hebben we het niet gebruikt in het MAXIMA project.

Tritium

Met tritium (^3H) kan de ouderdom bepaald worden van het bemonsterde water. Tritium komt van nature voor in de atmosfeer met een concentratie van ± 5 Tritium Units (1TU is gelijk aan 1 atoom per 10^8). Door de atoomproeven in de jaren 50 is de concentratie sterk toegenomen tot wel 25 TU. Aangezien tritium afbreekt met een halfwaardetijd van 12.43 jaar is de tritium concentratie in de atmosfeer nog steeds hoog. Als er in een monster tritium aangetoond wordt met een concentratie hoger dan 5 TU is het water jonger dan 50 jaar.

Dit principe kan op verschillende manieren gebruikt worden. Door langs een stroomlijn op verschillende plaatsen tritium te meten kunnen de grondwaterstroming en de verspreidingswegen worden geverifieerd. Tritium kan ook gebruikt worden om de monitoring te optimaliseren. Op plaatsen waar geen tritium wordt aangetroffen is monitoring voorlopig niet nodig, het grondwater is namelijk ouder dan de stort zelf. Als er wel tritium wordt aangetroffen, is de kans aanwezig dat dit water uit de stort afkomstig is en op korte termijn kunnen (afhankelijk van retardatie en omzetting) ook microverontreinigingen verwacht worden.

Resultaten Maxima ^3H

In fase 3 van het project MAXIMA zijn 6 tritium analyses uitgevoerd op grondwater monsters. Volgens ons stromingsmodel zouden de monsters recent zijn en dus tritium bevatten. Uit de analyses bleek dat in 3 peilbuizen inderdaad recent grondwater bemonsterd was. In 2 peilbuizen was het grondwater ouder dan 50 jaar. Een peilbuis bevatte mengwater van recente en oudere leeftijd. Van de watermonsters die recent water bevatten is het nog niet zeker dat dit water ook uit de stort afkomstig is. Uit EM-34 metingen blijkt dat

stroming door de Holocene deklaag heel beperkt is behalve bij een groot potentiaal verschil. Mede op grond van deze resultaten hebben we het conceptueel lokaal beeld kunnen aanpassen.

Resultaten Maxima ¹⁸O

Voor het Maxima project zijn 26 monsters op en rond de stort geanalyseerd op ¹⁸O.

De monsters die op de Volgermeerpolder zelf zijn genomen hebben een $\delta^{18}\text{O}$ tussen de -5,5 en de 6,9. Deze monsters hebben slechts een geringe verdamping ondergaan. Dit bevestigt de hypothese van zoetwater oorsprong op de stort. Dit zoete water zal voor een bepaald gedeelte uit regenwater bestaan en hoogstwaarschijnlijk ook ingelaten boezemwater. Hoe groot het gedeelte boezemwater is kan niet worden afgeleid uit de $\delta^{18}\text{O}$ waarden

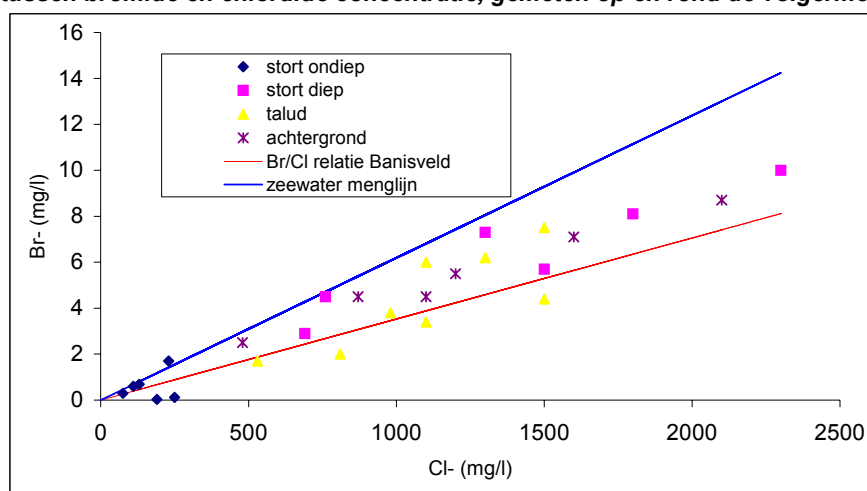
De monsters die onder en buiten de stort zijn genomen hebben een $\delta^{18}\text{O}$ tussen de -5.4 en -2.75. Deze hebben een grotere verdamping ondergaan dan de monsters op de stort. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de monsters op de stort en onder en in de omgeving van de stort in isotopische samenstelling afwijken. Dit bevestigt de nieuwe hypothese dat het grondwater in de tussenzandlaag niet uit de stort afkomstig is maar min of meer stagnant is.

Halogeniden

De analyse van fluoride, bromide, jodide en chloride bij stortplaatsen

Bij (voormalige) stortplaatsen is het van belang om de pluim van stortpercolaat te karteren. Analyse van de halogeniden F^- , Cl^- , Br^- en I^- kan hierbij een goed hulpmiddel zijn. De interpretatie van de halogeniden is vooral interessant als op grond van chloride alleen geen onderscheid gemaakt kan worden tussen stortpercolaat en de achtergrond concentraties. Met het MAXIMA project is aangetoond dat het hoge chloridegehalte in de omgeving van de Volgermeerpolder een zeewater oorsprong heeft en niet uit de stort afkomstig is. We hebben geprobeerd om op grond van de verhoudingen tussen chloride en bromide, fluoride en jodide de verspreiding van stortpercolaat te onderzoeken. De hypothese is dat zij in afwijkende concentraties voorkomen in het stortpercolaat ten opzichte van de achtergrond.

Relatie tussen bromide en chloride concentratie, gemeten op en rond de volgermeerpolder



Achtergrond

Het idee van het analyseren van halogeniden is afkomstig van Boris van Breukelen die op de Banisveld stort goede resultaten geboekt heeft met de Bromide/chloride verhouding. Op de Banisveld-stort is gebleken dat de Br^-/Cl^- verhouding in stortpercolaat ongeveer gehalveerd is ten opzichte van natuurlijk achtergrondwater. Van chloride is bekend dat dit in verhoogde concentraties voorkomt in stortmateriaal. Dit is waarschijnlijk het gevolg van oplossen van keukenzout wat in huisvuil voorkomt. Keukenzout heeft een lagere bromide concentratie dan zeewater en hierdoor is de bromide concentratie relatief lager in het stortpercolaat.

Fluoride en jodide komen mogelijk ook in andere concentraties voor. Hiervoor geldt echter het tegenovergestelde dan voor bromide. De ionen komen in zeewater in zeer lage concentraties voor, concentraties fluoride en jodide die aangetroffen worden zijn het gevolg van oplossing van mineralen. Aangezien een stort bestaat uit een opeenhoping van

vreemde stoffen zijn jodide en fluoride in potentie interessante tracers om het stortpercolaat te volgen. Het gevaar is echter dat fluoride en jodide veel minder conservatief zijn dan chloride en bromide. Van jodide is bijvoorbeeld bekend dat het sterk beïnvloed wordt door biologische processen.

MAXIMA

Bij het MAXIMA project zijn de metingen op halogeniden uitgevoerd. Hierbij hebben we ons geconcentreerd op peilbuizen met een hoge EC (hoge zout concentraties). We wilden namelijk het onderscheid maken tussen zout afkomstig uit de stort en overblijfselen van zeewater in de holocene deklaag. We hebben hierbij 4 groepen monsters onderscheiden.

1. Stort: monsters genomen in de ondiepe peilbuizen op de stort, 100% stortpercolaat.
2. Stort diep: monsters genomen onder de stort, 6-7 meter diep in de deklaag.
3. Talud: monsters die volgens het 3D-MODFLOW model beïnvloed zouden moeten zijn met stortpercolaat.

4. Achtergrond: monsters die zeker niet beïnvloed zijn door de stort.

Van deze groepen hebben we onderzocht of ze afwijken in halogenide concentraties. Hiermee hebben we geprobeerd om het stortpercolaat en de achtergrond te karakteriseren op grond van de halogeniden. Uit de resultaten bleek geen duidelijk verband tussen de metingen op de stort en de metingen gedaan in de potentiële verspreidingswegen. Een aantal conclusies die we konden trekken waren:

- De chloride concentratie op de stort is erg laag. Hierdoor moeten we onze hypothese van een zoute pluim in een zoetere omgeving herzien. Uit de metingen komt naar voren dat verspreiding van stortpercolaat geassocieerd moet worden met verzoeting in plaats van verzilting. Interpretatie van halogeniden in de relatief zoetere peilbuizen zou dit uit kunnen wijzen.
- De stort is erg arm aan jodide. Jodide wordt niet aangetoond boven de detectielimiet. Ook is de fluoride concentratie, hoewel heterogeen verdeeld, in een aantal peilbuizen relatief hoog.
- Een groep peilbuizen op het talud is duidelijk relatief arm aan bromide (zie bovenstaand figuur). De groep vertoont ook een hoge fluoride concentratie, mogelijk vindt hier verspreiding plaats.

On-site chemische analyse

Voor en nadelen van veldmetingen

Naast de gebruikelijke labanalyses, kan de samenstelling van het grondwater ook in het veld geanalyseerd worden. Het feit dat de analyseresultaten direct beschikbaar zijn is een groot voordeel. Als er veel monsters genomen worden zijn veldmetingen ook vaak goedkoper dan labanalyses. De veldanalyses zijn echter niet gecertificeerd en hierdoor kunnen er geen rechten aan ontleend worden.

On site analyses	
Voordelen	Nadelen
<ul style="list-style-type: none">• Anticiperen op analyse resultaten• Bij veel monsters goedkoper dan lab• Direct resultaten beschikbaar• kans op verstoring van monsters kleiner	<ul style="list-style-type: none">• Afhankelijk van aantal monsters, bij weinig monsters een dure methode• Alleen micro's kunnen gemeten worden. macroanalyse bevindt zich (nog) in de experimentele fase.• Beperkte "hardheid" van de gegevens door ontbreken labcertificaat.

De grootste kracht van on-site analyses is dat binnen één à anderhalf uur de resultaten van de analyses bekend zijn. Dit brengt voordelen met zich mee:

- Afbraakgevoelige parameters kunnen onderschat worden als te lang gewacht wordt met de analyse. Dit geldt ook voor macro parameters. Tijdens transport naar het lab kan de watersamenstelling veranderen door veranderde chemische evenwichten.
- De kans dat er iets fout gaat tussen monstername en lab is kleiner (bv verwisseling van monsters, contaminatie van monsters).
- De analyses kunnen de monstername sturen. Aangezien de analyse korte tijd na de monstername bekend worden, kunnen op basis hiervan de nieuwe monsters genomen worden. Hiermee kan bijvoorbeeld een verontreinigingspluim uitgekarteerd worden.

De overheadkosten van on-site analyses zijn relatief hoog. Als er weinig monsters genomen kunnen worden op één dag, vervallen veel van de bovengenoemde voordelen. Labanalyses worden dan relatief goedkoper en anticiperen op de analyses is niet mogelijk. De hoeveelheid monsters is van een aantal factoren afhankelijk:

- De snelheid waarmee monsters genomen kunnen worden. In slechtdoorlatende pakketten is de toestroming beperkt waardoor het enige tijd kan duren voordat er genoeg monsterwater verzameld is. Bij veel on-site methodes is extra monstermateriaal (grondwater) nodig om de sensor te ijken.
- Analyseduur. Het duurt enige tijd voordat de analyses beschikbaar zijn. De analyse op microverontreinigingen duurt ongeveer één uur. Hierdoor kunnen er maximaal 8 monsters per dag geanalyseerd worden.

Macroanalyses

Macro analyses worden op dit moment nog niet op commerciële basis in het veld uitgevoerd. In het SKB-project "MacroSense" zijn een aantal macro analyse technieken gecombineerd om de haalbaarheid hiervan te onderzoeken. De analyseresultaten hiervan waren goed. De analysetijd was echter lang (2 uur) en de apparatuur is niet erg mobiel.

Microanalyses met GC-PID

Voor het aantonen van vluchtige organische (gechloreerde) verbindingen in de lucht, in de grond en in het grondwater is on-site analyse mogelijk met behulp van een gaschromatograaf (GC) voorzien van een Photo Ionisatie Detector (PID).

In de GC-PID kan geen vloeistof worden geïnjecteerd. In plaats van een vloeistof-injectie wordt een analyse in de headspace van het grondwatermonster uitgevoerd. Hierbij wordt 25 ml van het bemonsterde grondwater in een flesje van 40 ml gebracht. Vervolgens wordt het monster circa 20 minuten bij 30^o Celsius bewaard om het evenwicht van de verontreinigingen tussen de water- en dampfase in te stellen. Hierna wordt een hoeveelheid (100 µl) van de headspace van dit monster in de GC geïnjecteerd. In de GC worden de afzonderlijke componenten op de kolom gescheiden en door de PID gekwantificeerd.

De rapportagegrens van de GC-PID bedraagt 1 µg/liter. Afhankelijk van de projectomstandigheden en/of specifieke componenten kan deze grens mogelijk hoger liggen.

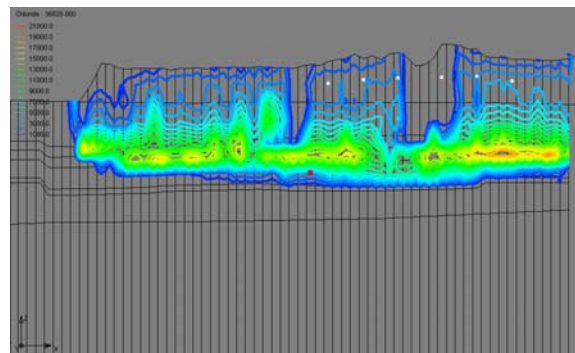
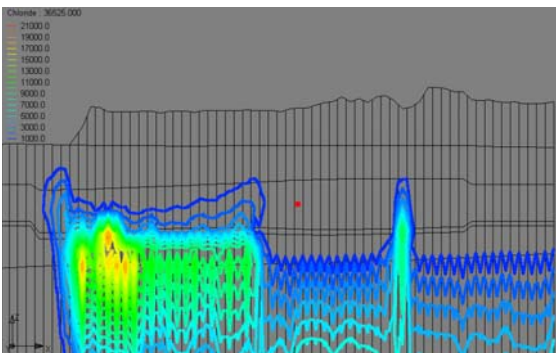
Grondwatermodellen

Een illustratie van het gebruik van numerieke modellen bij stortplaatsen

Grondwatermodellen worden gebruikt als evaluatiegereedschap van onze kennis van een stortplaats. Enerzijds is het model een kwantitatieve beschrijving van het Conceptueel Lokaal Beeld (CLB) met alle parameters die daar bijhoren, en anderzijds is het een middel om het begrip te vergroten van de hydrologische situatie. Aan de hand van een analyse met het grondwatermodel worden metingen uitgevoerd. Deze metingen behoren in overeenstemming te zijn met de modeluitkomsten. De afwijkingen tussen meting en model vormen de basis voor de aanpassingen in het CLB.

Tijdens het MAXIMA-project hebben gebruik we gemaakt van grondwater modellen om de volgende vragen te beantwoorden:

- Waar gaan we meten?
- Welke metingen hebben de hoogste toegevoegde waarde?
- Zijn de processen snel genoeg om te meten?
- Klopt het CLB nog met de meetresultaten?



Uitkomsten model: links zijn de resultaten van een simulatie met het bestaande model weergegeven, met hoge zoutconcentraties in het 1e WVP. Uit metingen blijkt dat deze voorspelling niet overeenstemt met de werkelijke situatie. Rechts het aangepaste model. De berekende resultaten geven aan dat de ondiepe Holocene deklaag minder verzoet is. Dit stemt beter overeen met de uitkomst van metingen.

Waar gaan we meten?

Processen in de ondergrond kunnen worden onderzocht door metingen langs een stroombaan uit te voeren. Op deze wijze kunnen we door op verschillende plaatsen te meten het proces in de tijd volgen. De effecten van biologische afbraak zullen bijvoorbeeld bovenstrooms geringer zijn dan benedenstrooms. In het project MAXIMA hebben we ons gefocust op veranderingen in de macro-chemische samenstelling van het grondwater. Om de overgang van het ene watertype naar het andere te bepalen is gebruik gemaakt van de programma's MODFLOW en MODPATH.

Welke metingen hebben de hoogste toegevoegde waarde?

Een Conceptueel Lokaal Beeld heeft een haast oneindige hoeveelheid onbekende parameters. Aangezien bij vrijwel elk project zowel tijd als geld gelimiteerd is, is het van het grootste belang dat die parameters gemeten worden die de meeste informatie opleveren. Door de gevoeligheid van de verschillende parameters in een stromingsmodel te toetsen kan een keuze tussen parameters genomen worden. De parameter met

de grootste invloed op het systeem krijgt hierbij prioriteit.

Zijn de processen snel genoeg om te meten?

Stroombaan berekeningen met MODPATH geven een indicatie hoelang het grondwater erover doet om een afstand te overbruggen. Veel organische verontreinigingen binden zich aan de grond door bijvoorbeeld adsorptie. Hierdoor is hun transportsnelheid soms drastisch lager dan het grondwater. In het project MAXIMA hebben we naar een relatief snel systeem gezocht om de verspreiding van het langzame systeem te voorspellen. We hebben gevonden dat verzoeting van het ondiepe grondwater een proces is dat waarschuwt voor de mogelijke verspreiding van organische verontreinigingen. Om gevoel te krijgen voor de macro-chemische gevolgen van verzoeting is gebruik gemaakt van het hydrochemisch model PHREEQC. De uitwisseling van geadsorbeerd natrium tegen calcium in oplossing bij verzoeting is gemodelleerd. Langs een stroombaan, waarbij uitwisseling en mogelijke neerslag van slecht oplosbare stoffen in beschouwing is genomen.

Klopt het CLB nog met de meetresultaten?

Tijdens de uitvoering van MAXIMA is een schat aan informatie over de locatie ter beschikking gekomen. De meetwaarden waren in veel gevallen niet in overeenstemming met het CLB en het stromingsmodel. Met name het zoet-zout vraagstuk rond de polder was onvoldoende verklaard in ons CLB. Aan het einde van het project hebben we daarom een aantal scenario's doorgerekend met MODFLOW/MT3DMS. Het bleek mogelijk de gemeten zoutconcentraties en de voorspellingen meer in overeenstemming te brengen. Het beeld en het model dat we van de stroming hadden, moest echter aanzienlijk worden aangepast. In bovenstaande figuren is het resultaat van deze modelberekeningen weergegeven. In linker figuur is de situatie in het oude model. De ondiepe Holocene lagen zijn

geheel verzoet, in werkelijkheid vinden we hier veel hogere zoutconcentraties. In het rechterfiguur is het model aangepast. Hier is de zoutconcentratie aanzienlijk hoger, ondiep in de deklaag.

Beschikbaarheid van modellen

De afgelopen 10 jaar is de beschikbaarheid van grondwater(kwaliteits)modellen aanzienlijk toegenomen. Voor de meeste berekeningen is de reken capaciteit van een PC voldoende en gebruikersvriendelijke interfaces zijn commercieel verkrijgbaar. Modelleren hoeft niet duur te zijn als het maar effectief wordt uitgevoerd. Royal Haskoning en GeoDelft hebben zowel senior als junior modelleurs ter beschikking om diverse modellen praktisch in te zetten.

BIJLAGE B

VOORBEELD MATRIX MEETPLAN MAXIMA FASE 2

Tabel B1. Overwogen technieken bij het veldwerk in fase 2.

Techniek	Waarvoor te gebruiken	Risico/ verwachtingen	Conclusie
Ontgravingen	Vrijmaken stort	Om schade aan de sondes te beperken is het mogelijk om gaten door de stort te graven. In dit gat kunnen dan mantelbuizen en peilbuizen worden gezet. Door de mantelbuizen kan dan verder naar de diepte worden gesondeerd. Verstoring is groot (peilbuizen pas na 3 maanden geschikt voor macroparameters), de methode is bewerkelijk, maar met een bewezen slagingskans.	wel doen
<i>1 Bodemopbouw</i>			
GE (Geo-electrische sonderingen)	Laagopbouw	Methode geeft relatief snel inzicht in de bodemopbouw over een groot oppervlak. In systemen met veel lagen (> 5) blijkt het moeilijk te interpreteren. Omdat we al veel over bodemopbouw weten en we ook meer informatie krijgen als we sonderingen gaan doen blijkt de toegevoegde waarde klein t.o.v. de aanzienlijke kosten (zie bijlage A).	niet doen
EM (Electro magnetische geleidbaarheidsbepaling)	Plaats van sonderingen bepalen op de stort	EM gebruiken op de stort om locaties te identificeren waar met een grotere kans van slagen gesondeerd kan worden. Het is niet zeker of deze methode goed interpreteerbare resultaten geeft, stortmateriaal is erg heterogeen. Omdat we uit de luchtfoto-interpretatie een vrij goed beeld hebben van de bronzone, is een andere optie gaten graven. Ervaring heeft uitgewezen dat dit zeer goed gaat en uiteindelijk een zelfde resultaat geeft. Een nadeel is dat we door het graven van gaten de situatie ernstig zullen verstoren en het dus niet mogelijk is een ongestoord monster van stortpercolaat te nemen.	wel doen
Piëzocone sondering	Laagopbouw	Deze methode geeft naast de wrijving en kleef ook de waterspanning weer. In goed doorlatende lagen neemt de waterspanning lineair toe met de diepte, in slecht doorlatende lagen kan het water niet goed weg tijdens het sonderen, waardoor er een zeer grillig verloop van de waterspanning optreedt. Hierdoor geeft deze methode de laagscheiding met een hoog detail weer.	wel doen

Techniek	Waarvoor te gebruiken	Risico/ verwachtingen	Conclusie
<i>2 freatisch en diep grondwaterpeil</i>			
Peilbuizen	Stijghoogte	Het opnemen van de waterstand in de peilbuis geeft goede reproduceerbare informatie. Een groot voordeel is dat met een peilbuis in de tijd kan worden gemonitord.	wel doen
GeoRadar	Grondwaterstand en vol capillaire zone	Het blijkt dat voor sommige bodemtypen georadar gebruikt kan worden om de bovenkant van de vol capillaire zone vast te stellen. Voor het bodemtype bij de Volgermeerpolder (vnl. veen) hebben deskundigen (Sander Huisman van de UvA) ons afgeraden Georadar hiervoor te gebruiken, omdat zij interpretatieproblemen verwachten.	niet doen
Piëzocone sondering	Druk (waterspanning)	De helling van de waterspanning met de diepte geeft een indruk van de stijghoogte. Op zich moeilijk te interpreteren, maar meegenomen als de methode toch wordt gebruikt.	wel doen
<i>3 Hydrologische eigenschappen</i>			
Bat sonde	k (doorlatendheid)	De methode is geschikt voor doorlatendheden kleiner dan 0.5 m/d. In onze raai hebben wij het idee dat de stroombanen door lagen gaan met hogere doorlatendheden. Op grond van gevoeligheidsanalyses, uitgevoerd met het 3D-model, blijkt dat de doorlatendheid vrij goed geschat moet zijn, omdat de voorspelde peilen zeer gevoelig zijn voor veranderingen in de doorlatendheid.	niet doen
Slugtest	KD	Deze methode geeft een ruwe schatting, meer dan betrouwbare meting, we hebben niet het idee dat deze schatting beter zal zijn dan degene die we al hebben.	niet doen
Piëzocone	K	Deze methode geeft een overzicht van de goed- en slechtdoorlatende lagen en daarmee een betrouwbaar kwalitatief beeld. De methode geeft geen kwantitatieve informatie over de doorlatendheid.	wel doen
<i>4 watersamenstelling</i>			
EM (geleidbaarheid)	Kaart van de schijnbare geleidbaarheid (EC)	Deze methode meet de oppervlakkige bodemgeleidbaarheid. Uit de clusteranalyse is gebleken dat er verschillen zijn die geweten kunnen worden aan de geleidbaarheid van het grondwater. De kaartjes wijzen op een beïnvloeding die te maken kan hebben met infiltratie van regenwater en kwel. De bekende geleidbaarheden geven aanleiding om te veronderstellen dat dit tot meetbare patronen moet leiden.	wel doen
³ H (Tritium) en He (Helium)	Ouderdom van het grondwater	De aanwezigheid van Tritium is het gevolg van de kernproeven die in de vijftiger jaren van de vorige eeuw zijn uitgevoerd. Aanwezigheid van Tritium in het grondwater is een aanduiding dat het water geïnfilteerd is na 1950 (alleen Tritium analyseren is relatief goedkoop). Een datering tot op één jaar nauwkeurig is mogelijk door een gecombineerde Tritium-/Heliummeting. Dit is een dure en bewerkelijke methode (moeilijke monsternamen en het monster moet naar een specialistisch laboratorium worden gestuurd).	alleen ³ H

Techniek	Waarvoor te gebruiken	Risico/ verwachtingen	Conclusie
EC-sonde	Geleidbaarheid	Naast wrijving en kleef wordt ook de geleidbaarheid als functie van de diepte gemeten. Vooral interessant als de precieze stroombaan niet bekend is. Op grond van ons inzicht in de bodemopbouw en de resultaten van de modellering hebben we een redelijk vermoeden van waar we moeten zijn. We verwachten weinig extra informatie te krijgen.	niet doen
Chemo-sonde	Diverse chemie	Dit is een sondering, waarbij in situ pH, Eg, temperatuur en redox worden gemeten. Tijdens één penetratie kan op meerdere diepten worden gemeten. Voegt weinig extra informatie toe bij toepassing van de MGWS.	niet doen
Multi Grondwater-sonde (MGWS)	Watermonsters voor micro- en macrokwaliteit	Met deze sondeermethode is het mogelijk om op een aantal dieptes tijdens één sondering watermonsters te nemen. Voordeel is dat er sprake is van minimale verstoring, waardoor het monster direct geochemisch te karakteriseren is. Nadeel is dat het niet direct geschikt is voor monitoring in de tijd (geen herhaling mogelijk). De prijsvoordelen komen vooral tot uiting bij toepassing op grotere dieptes en meerdere monsters.	wel doen
Peilbuizen	Micro- en macrokwaliteit	De standaardmethode voor het nemen van grondwatermonsters. Voordeel is het meerdere keren op dezelfde plaats bemonsteren. Nadelen zijn dat het plaatsen van een peilbuis gepaard gaat met grote verstoringen, pas na 3 maanden zijn de redox-parameters betrouwbaar te meten en dat van tevoren niet altijd even duidelijk is welke plaats geschikt is voor langdurige monitoring. Minder geschikt voor macroparameters, in eerste instantie wordt alleen micro gemeten, omdat we denken dat deze minder last hebben van de verstoring als gevolg van plaatsing.	alleen micro
5 bodemeigenschappen			
Spitsmuis sondering	Grondmonster	Met behulp van een sondering wordt een holle buis op diepte gebracht. Op een geselecteerde diepte wordt de stang opengehaakt, wordt verder gepenetreerd en dus de grond bemonsterd. Vervolgens wordt de stang met het grondmonster naar boven getrokken. Gebruik van de spitsmuis is de enige manier om een ongestoord grondmonster van grote diepte te verkrijgen en het is goedkoper dan boren. Hiermee is het mogelijk de verdeling van verschillende stoffen vast te stellen over de waterfase (opgelost) en de vaste fase (geadsorbeerd). Voor de geochemische karakterisatie is het ongestoord zijn van het monster essentieel.	wel doen
Boringen	Lithologie	Het uitvoeren van diepe boringen geeft een verstoring door o.a. het gebruik van werkwater en geeft daarom slechts een kwalitatief beeld van de bodemopbouw, handboringen kunnen, mits nauwkeurig uitgevoerd, zeer zinvol zijn voor bodemopbouw (helaas alleen ondiep). Boringen zijn nodig voor het plaatsen van peilbuizen en dan is het altijd verstandig om de bodemopbouw daarmee te karakteriseren.	wel doen