SV-027

Verificatie-onderzoek verspreiding Krimpenerwaard

dr. ir. H. Keijzer (Royal Haskoning BV)
ir. L. Brouwer (Royal Haskoning BV)

juni 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, "©"Verificatie-onderzoek verspreiding Krimpenerwaard", juni 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, "©"Verification study – spreading in Krimpenerwaard ", June 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
Verificatie-onderzoek verspreiding Krimpenerwaard

SKB rapportnummer
SV-027

Project rapportnummer
SV-027

Auteur(s)
dr. ir. H. Keijzer
ir. L. Brouwer

Aantal bladzijden
Rapport: 93
Bijlagen: Separaat rapport

Uitvoerende organisatie(s) (Consortium)
Royal Haskoning BV (dr. ir. H. Keijzer en ir. L. Brouwer)
Wageningen Universiteit

Samenstelling begeleidingsgroep:
De onderzoeksopzet en de resultaten van de diverse deelonderzoeken zijn besproken met de begeleidingsgroep verspreiding, bestaande uit:
- Stichting Bodembeheer Krimpenerwaard (SBK), de heer A. Verbruggen;
- Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem (SKB), de heer ir. P. van Mullekom;
- Provincie Zuid-Holland, afdeling Bodemsanering, de heer ing. C. Kester;
- Waterleidingbedrijf Hydron Zuid-Holland (voorheen WZHO), de heer ir. G. Grakist;
- TNO/NITG, de heer dr. ir. T. Leijnse (voorheen RIVM);
- Nutriënten Management Instituut (NMI), de heer dr. ir. S. Moolenaar (voorheen IWACO B.V.).

Uitgever
SKB, Gouda

Samenvatting
In het verificatie-onderzoek verspreiding zijn de aannamen uit het bodembeheerplan geverifieerd inzake de eventuele verspreiding van verontreinigingen vanuit dempingmateriaal naar:
- het oppervlaktewater via de kopse kanten van de dempingen (route 1);
- het oppervlaktewater via de aangrenzende percelen (route 2);
- het diepe grondwater van het eerste watervoerend pakket (route 3).

Tevens is beoordeeld of de voorgestelde standaardmaatregel ‘afdichting kopse kant’ een afdoende en zinvolle maatregel is om verspreiding naar oppervlaktewater tegen te gaan.

Het onderzoek is onderverdeeld in een aantal activiteiten waarbij via een cyclisch proces van modelvorming en veld- en laboratoriumonderzoek inzicht is verkregen in de juistheid van de aannamen ten aanzien van verspreiding. Bij het onderzoek is gekeken naar onder meer:
- de aard en samenstelling van het dempingmateriaal (actueel en historisch);
- de procesomstandigheden in het grondwater in en rond de dempingen;
- de variaties in geo(hydro)logie in het gebied;
- de invloed van preferente stroming op het verspreidingsgedrag van verontreinigingen.

De resultaten van het onderzoek, uitgevoerd op een selectie van dempingen, zijn opgeschaald naar alle voorkomende situaties/dempingen in de Krimpenerwaard.

Trefwoorden
Gecontroleerde termen:
-

Vrije trefwoorden:
-

Titel project
Verificatie-onderzoek verspreiding Krimpenerwaard

Projectleiding
Royal Haskoning
(ir. L. Brouwer, 010 2865647)

Dit rapport is verkrijgbaar bij:
SKB, Postbus 420, 2800 AK Gouda

Report title
Verification study – spreading in Krimpenerwaard

SKB report number
SV-027

Project report number
SV-027

Author(s)
dr. ir. H. Keijzer
ir. L. Brouwer

Number of pages
Report: 93
Appendices: Separate report

Executive organisation(s) (Consortium)
Royal Haskoning BV (dr. ir. H. Keijzer and ir. L. Brouwer)
Wageningen Universiteit

Composition of the monitoring group:
The research plan and the results of the various sub-studies were discussed with the spreading monitoring group, which consisted of:
- Stichting Bodembeheer Krimpenerwaard (SBK) (Krimpenerwaard soil management foundation), Mr A. Verbruggen;
- Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem (SKB) (foundation for the development and transfer of soil knowledge), Mr P. van Mullekom;
- Provincie Zuid-Holland, afdeling Bodemsanering (Province of South Holland, soil remediation department), Mr C. Kester;
- Waterleidingbedrijf Hydron Zuid-Holland (Hydron Zuid Holland water company) (formerly WZHO), Mr G. Grakist;
- TNO/NITG, Mr T. Leijnse (formerly RIVM);
- Nutriënten Management Instituut (NMI) (nutrient management insititute), Mr S. Moolenaar (formerly IWACO B.V.).

Publisher
SKB, Gouda

Abstract
The assumptions relating to possible spreading of contaminants from dam material to the areas listed below were verified in the spreading verification study:
- Surface water through the tops of the dams (route 1);
- Surface water via the adjacent plots (route 2);
- Deep groundwater in the first water discharge package (route 3).

It was also evaluated whether the proposed standard measure of ‘sealing the top’ is an effective and useful measure to prevent spreading to surface water.

The study was divided into a number of activities whereby a cyclical process of modelling and field and laboratory research provided insight into the correctness of the assumptions relating to spreading. The research involved studying several aspects, including:
- The nature and composition of the dam material (current and historic);
- The process conditions in the groundwater in and around the dams;
- The variations in (geo)hydrology in the region;
- The influence of the prevailing flow on the spreading behaviour of contamination.

The results of the studies, conducted at a selection of dams, were scaled up to all situations/dams occurring in the Krimpenerwaard.

Keywords
Controlled terms:
-

Uncontrolled terms
-

Project title
Verification study – spreading in Krimpenerwaard

Projectmanagement
Royal Haskoning
(ir. L. Brouwer, 010 2865647)

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 VI

SUMMARY XIII

BEGRIPPENLIJST XX

Hoofdstuk 1 INLEIDING 1

Hoofdstuk 2 AANPAK EN BESCHRIJVING UITGEVOERDE WERKZAAMHEDEN EN ACTIVITEITEN 5

Hoofdstuk 3 CONCEPTUEEL MODEL EN MODELLERING 7
3.1 Algemeen 7
3.2 Gegevensverzameling 7
3.2.1 Geologie 8
3.2.2 Hydrologie 9
3.2.3 Aard en samenstelling dempingmateriaal 9
3.2.4 Optredende stoftransportprocessen 9
3.3 Conceptueel model 10
3.3.1 Hydrologie 10
3.3.2 Stoftransport 12
3.4 Grondwaterstromings- en stoftransportmodellering 14
3.4.1 Hydrologisch model 14
3.4.2 Stoftransportmodel 17
3.5 Gebruik resultaten bij vervolgonderzoek 19

Hoofdstuk 4 SELECTIE DEMPINGEN 21
4.1 Algemeen 21
4.2 Samenstelling dempingmateriaal 22
4.3 Voorstel analysepakket 24
4.4 Dempingcategorieën 24
4.5 Overzicht geselecteerde dempingen 25

Hoofdstuk 5 EERSTE FASE VELD- EN LABORATORIUMONDERZOEK (VELDONDERZOEK DEMPINGEN) 27
5.1 Algemeen 27
5.2 Overzicht uitgevoerd veld- en laboratoriumonderzoek 28
5.3 Bespreking resultaten uitgevoerd veld- en laboratorium-onderzoek 29
5.3.1 Resultaten veldonderzoek 29
5.3.2 Resultaten laboratoriumonderzoek 30
5.4 Resultaten aanvullende hydrologische en stoftransport-modellering 32
5.4.1 Vaststellen niet-stationaire effecten 32
5.4.2 Specifieke stroming rond dempingen 34
5.4.3 Vaststellen verspreiding verontreinigingen vanuit dempingen 35
5.5 Gebruik resultaten bij vervolgonderzoek 38

Hoofdstuk 6 TWEEDE FASE VELD- EN LABORATORIUMONDERZOEK (VELDONDERZOEK OMGEVING) 39
6.1 Algemeen 39
6.2 Overzicht uitgevoerd veld- en laboratoriumonderzoek 39
6.3 Bespreking resultaten uitgevoerd veld- en laboratoriumonderzoek 42
6.3.1 Resultaten veldonderzoek 42
6.3.2 Resultaten laboratoriumonderzoek 42
6.4 Resultaten aanvullende stoftransportmodellering 48
6.4.1 Verspreiding rond de dempingen 2033 en 2212 48
6.4.2 Verspreiding rond eerder onderzochte dempingen 49

Hoofdstuk 7 SYNTHESE 51
7.1 Algemeen 51
7.2 Het dempingmateriaal 52
7.2.1 Chemische samenstelling 52
7.2.2 Optredende processen in het dempingmateriaal 53
7.2.3 Relatie hydrologie/geologie en resultaten veld- en laboratoriumonderzoek 54
7.3 De verspreiding van verontreinigingen uit het demping-materiaal 54
7.3.1 Verspreiding via route 1, kopse kanten 55
7.3.2 Verspreiding via route 2, naar aangrenzend perceel 55
7.3.3 Verspreiding via route 3, naar het watervoerend pakket 56
7.3.4 Referentiemetingen in relatie tot waarnemingen chroom en zink 57
7.3.5 Relatie tussen verspreiding en bodemopbouw 57

Hoofdstuk 8 HETEROGENITEIT 58
8.1 Algemeen 58
8.2 Verontreiniging in de demping 59
8.3 Opbouw in de demping 59
8.4 Bodemopbouw in de omgeving van de demping 59
8.5 Conclusies 60
8.6 Discussie 61

Hoofdstuk 9 TOETSINGSKADER 62
9.1 Algemeen 62
9.2 Verspreiding via route 1: naar oppervlaktewater via kopse kanten 63
9.3 Verspreiding via route 2: naar oppervlaktewater via aangrenzende percelen 64
9.4 Verspreiding via route 3: naar diepe grondwater 65
9.5 Alternatieve benadering voor route 1 67

Hoofdstuk 10 FUNCTIEWIJZIGING 69
10.1 Algemeen 69

Hoofdstuk 11 EINDBEOORDELING EN OPSCHALING 72
11.1 Algemeen 72
11.2 Verspreiding naar oppervlaktewater 72
11.3 Verspreiding naar (diep) grondwater 73
11.4 Standaardmaatregel verspreiding 74
11.5 Opschaling 74
11.5.1 Kaartmateriaal, toepassing GIS/ArcView 74
11.5.2 Opschaling per verspreidingsroute 75

Hoofdstuk 12 AANBEVELINGEN 78

LITERATUUR 79

KAARTENOVERZICHT 81

Het separate bijlagenrapport bevat de volgende bijlagen

A. Gegevensverzameling
B. Verklarende lijst met hydrologische en stoftransportparameters
C. Representativiteit gebruikte gegevens (polderpeil, stijghoogte en maaiveldhoogte)
D. Hydrologische modellering
E. Stoftransportmodellering
F. Resultaten eerste ronde veld- en laboratoriumonderzoek
G. Resultaten tweede ronde veld- en laboratoriumonderzoek
H. Heterogeniteit
I. Preferente stroming in de Krimpenerwaard
J. Visualisatie verspreiding representatieve situaties

SAMENVATTING

Verificatie-onderzoek verspreiding Krimpenerwaard

S1 Inleiding

Sinds 1998 is in de Krimpenerwaard een gebiedsgericht bodembeheerplan in werking getreden. Het bodembeheerplan geeft een landinrichtingsondersteunende en milieuhygiënisch verantwoorde oplossing voor de bodemverontreiniging als gevolg van circa 5.000 slootdempingen in het gebied. De oplossing is gebaseerd op het uitgangspunt dat bodemverontreiniging functiegericht wordt gesaneerd, waarbij de bodemverontreiniging geen beperking mag vormen voor de beoogde functies (landbouw, natuur en recreatie) in het gebied.

In het bodembeheerplan zijn uitspraken gedaan in welke gevallen sprake is van een mogelijk ongewenste situatie vanuit het oogpunt van landbouw, ecologie of verspreiding via het (grond)water. Voor verspreiding zijn hierbij aannamen geformuleerd betreffende de eventuele verspreiding van verontreinigingen vanuit dempingmateriaal naar het oppervlaktewater (hetzij via de kopse kanten van de dempingen, hetzij via de aangrenzende percelen) en naar het diepe grondwater (eerste watervoerend pakket). Tevens is in het bodembeheerplan de standaardmaatregel ‘afdichten kopse kanten’ voorgesteld om (ontoelaatbare) verspreiding van verontreinigingen naar oppervlaktewater tegen te gaan.

S2 Doel verificatie-onderzoek

Het doel van het verificatie-onderzoek verspreiding is het verifiëren van de aannamen die geformuleerd zijn in het bodembeheerplan (zie onder). Uit het verificatie-onderzoek moet tevens blijken of het afdichten van de kopse kanten een afdoende en zinvolle maatregel is om verspreiding naar het oppervlaktewater tegen te gaan.

S3 Aannamen bodembeheerplan

Verspreiding naar oppervlaktewater

- Verspreiding naar oppervlaktewater vindt niet plaats bij onverdacht materiaal.
- Verspreiding naar grondwater vindt altijd plaats bij verdacht dempingmateriaal; dit leidt tot overschrijdingen van de I-waarde in het grondwater en kan leiden tot overschrijdingen van kwaliteitseisen in het oppervlaktewater aan de kopse kanten van de gedempte sloten.

Verspreiding naar (diep) grondwater

- Zowel horizontale als verticale verspreiding naar grondwater vindt niet plaats bij onverdacht materiaal.
- Horizontale en verticale verspreiding naar grondwater vindt altijd plaats bij verdacht materiaal; dit leidt tot overschrijding van de I-waarde in het (freatisch) grondwater; dit leidt niet tot overschrijdingen in het eerste watervoerend pakket, tenzij er sprake is van ondergenoemde situatie:
- Er is alleen risico voor verspreiding naar het eerste watervoerend pakket bij dempingen met verdacht dempingmateriaal op gefundeerde zandbanen en donken in een infiltratiesituatie.

Standaardmaatregel verspreiding

In het bodembeheerplan is, om ongewenste verspreiding naar het oppervlaktewater tegen te gaan 'het afdichten van de kopse kanten van de dempingen’ opgenomen als standaardmaatregel.

S4 Aanpak verificatie-onderzoek

Het verificatie-onderzoek is onderverdeeld in een aantal activiteiten met modellering en veld- en laboratoriumonderzoek als rode draad. In figuur S1 is de aanpak van het verificatie-onderzoek schematisch weergegeven en is een toelichting gegeven op de verschillende activiteiten.

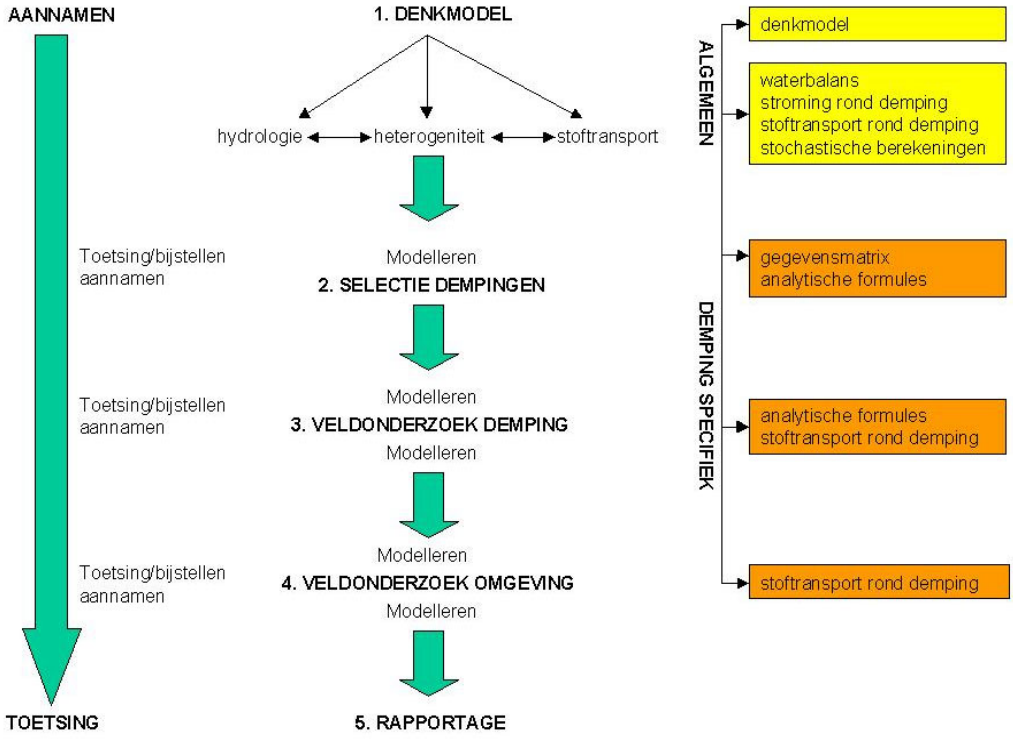


Fig. S1. Aanpak verificatie-onderzoek.

S4.1 Modelvorming

Op basis van literatuurstudie is een conceptueel model opgesteld waarin een samenhangende beschrijving is gegeven van de (hydrologische en stoftransport)processen die relevant zijn voor de verspreiding van verontreinigingen vanuit de dempingen naar grond- en oppervlaktewater. Dit conceptuele model vormde de basis voor de (numerieke) grondwaterstromings- en stoftransportmodellen die vervolgens zijn opgesteld, te weten:

- numeriek 2D-model (Triwaco [Iwaco, 2001]) voor het onderzoek naar de effecten van (verschillen in) bodemopbouw op de stroming van het grondwater vanuit de demping naar het watervoerend pakket;
- numeriek 3D-model (Triwaco [Iwaco,2001]) voor het onderzoek naar de specifieke stroming rond en in de dempingen waarbij de nadruk ligt op de horizontale grondwaterstroming vanuit de dempingen naar het oppervlaktewater (via kopse kant en via aangrenzende percelen);
- analytische en numerieke stoftransportberekeningen voor het bepalen van het doorslagmoment en het verloop van de doorslag in de tijd van de verontreinigingen naar oppervlaktewater en watervoerend pakket.

Wat betreft de grondwaterstromingsberekeningen is uitgegaan van een stationaire situatie (gemiddeld jaarlijks neerslagoverschot). Daarnaast zijn niet-stationaire berekeningen uitgevoerd om het effect van variatie in neerslag en verdamping gedurende het seizoen op de grondwaterstroming te onderzoeken.

Wat betreft de stoftransportberekeningen is uitgegaan van verschillende groepen verontreinigingen: verontreinigingen die adsorberen (lineair/niet-lineair) en verontreinigingen die adsorberen en afgebroken worden.

Een belangrijke parameter bij de modelvorming is de bodemopbouw onder/in de omgeving van de demping. De gehanteerde bodemprofielen zijn weergegeven in figuur S2.

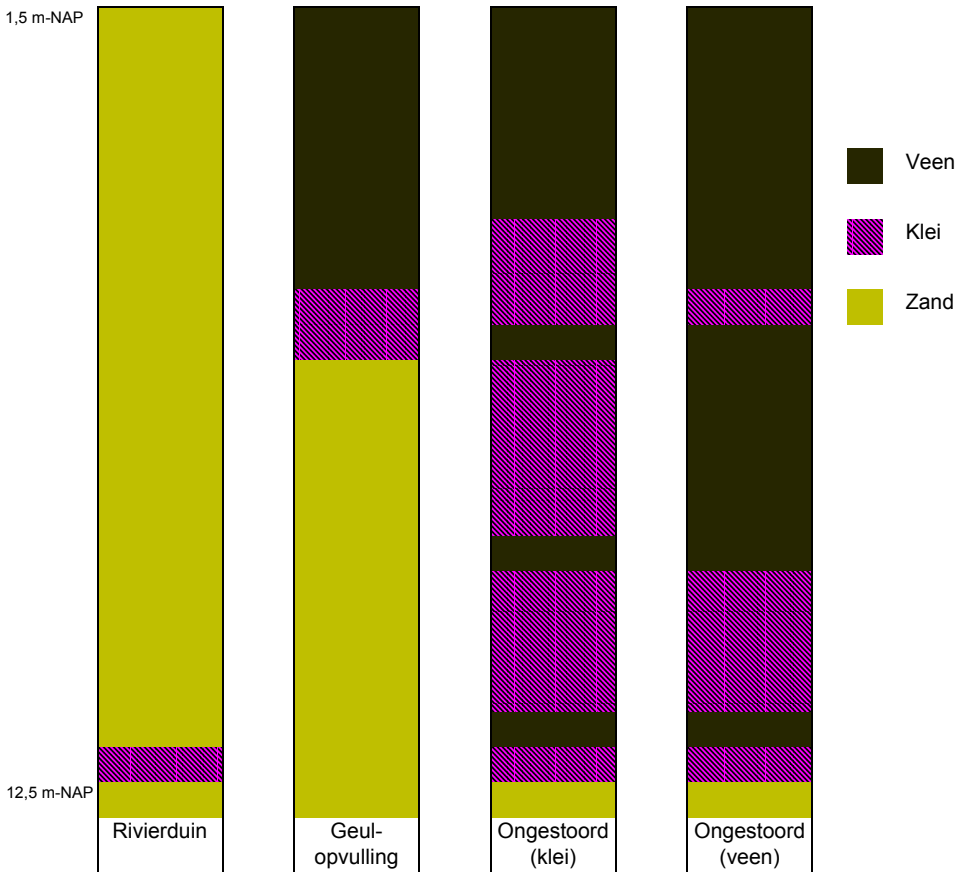


Fig. S2. Bodemprofielen bij de modellering.

S4.2 Selectie dempingen voor veldonderzoek

Uit de modellering blijkt dat met name de bronconcentratie, de bodemopbouw en de hydrologie van belang zijn bij de verspreiding. Het veldonderzoek wordt uitgevoerd op een selectie van dempingen. Om in een later stadium de resultaten van het veld- en laboratoriumonderzoek te kunnen opschalen naar alle voorkomende situaties in de Krimpenerwaard is bij de selectie van dempingen zoveel mogelijk rekening gehouden met verschillen in dempingmateriaal, bodemopbouw en geohydrologie. In totaal zijn 18 dempingen geselecteerd voor de eerste ronde veld- en laboratoriumonderzoek.

S4.3 Eerste ronde veld- en laboratoriumonderzoek

Doel van de eerste ronde veld- en laboratoriumonderzoek is meer te weten te komen over:

- de geometrie van de dempingen (ligging/diepte/breedte);
- de aard en samenstelling van het dempingmateriaal;
- de procesomstandigheden in het dempingmateriaal.

Met behulp van een graafmachine zijn bemonsteringsgaten gegraven tot aan de onderzijde van het dempingmateriaal.

Er zijn monsters genomen van:
- grond in de demping;
- het grondwater dat toestroomt in de gegraven gaten (ongefiltreerd, direct na graven), verder te noemen percolaat;
- het grondwater dat wordt opgepompt uit geplaatste peilbuizen in de gegraven gaten (gefiltreerd, na wachttijd), verder te noemen grondwater.

De percolaatmonsters geven een indicatie van de samenstelling van het dempingmateriaal (soort stoffen en mate van verontreiniging). De gefiltreerde grondwatermonsters geven aan welk deel van de verontreiniging in het dempingmateriaal beschikbaar is voor verspreiding via het grondwater.

De monsters zijn geanalyseerd op een aantal stoffen. De keuze voor deze stoffen is gebaseerd op literatuuronderzoek en resultaten van eerder uitgevoerde bodemonderzoeken op dempingen.

S4.4 Modellering na eerste ronde veld- en laboratoriumonderzoek
De resultaten van de eerste ronde veld- en laboratoriumonderzoek zijn gebruikt om de bronterm (typen en mate van verontreiniging) vast te stellen. Deze bronterm is gebruikt als invoer voor de modelberekeningen. Van de onderzochte dempingen is de verspreiding van verontreinigingen berekend. Hierbij is rekening gehouden met verschillen in bodemopbouw en geohydrologie. De resultaten van deze berekeningen zijn gebruikt voor het opstellen van de onderzoekshypothese (mate van verspreiding langs de verschillende routes) voor de tweede ronde veld- en laboratoriumonderzoek.

S4.5 Tweede ronde veld- en laboratoriumonderzoek
Dit onderzoek richtte zich op het:
- vaststellen van de verspreiding van verontreinigingen vanuit het dempingmateriaal naar het oppervlaktewater en het diepe grondwater;
- bepalen van de procesomstandigheden in de omgeving van de dempingen;
- vaststellen van de referentiesituatie.

De dempingen die onderzocht zijn, zijn een selectie van de reeds eerder bezochte dempingen.

S4.6 Modellering na tweede ronde veld- en laboratoriumonderzoek
De resultaten van de tweede ronde veld- en laboratoriumonderzoek zijn vervolgens vergeleken met de resultaten van de modelberekeningen. In het geval van afwijkende resultaten is gezocht naar verklaringen voor de verschillen. Voor een aantal specifieke gevallen is een aanvullende modelberekening uitgevoerd.

S4.7 Opstellen eindrapportage
Vervolgens is de eindrapportage opgesteld. Hierin zijn de verschillende onderzoeksresultaten in onderlinge samenhang beschreven (synthese) en heeft een eindbeoordeling plaatsgevonden van de aannamen uit het bodembeheerplan. Vervolgens zijn de conclusies en aannamen geformuleerd.

S5. Resultaten verificatie-onderzoek
Onderstaand zijn de belangrijkste resultaten van het verificatie-onderzoek beschreven, te weten:
1. Aard en samenstelling dempingmateriaal;
2. Verspreiding van verontreinigingen via de routes 1, 2 en 3;
3. Beoordeling standaardmaatregel ‘afdichting kopse kant’;
4. Invloed toekomstige functiewijzigingen op verspreiding.

S5.1 Aard en samenstelling dempingmateriaal

- Op basis van een inventarisatie van beschikbare (literatuur)gegevens is een selectie gemaakt van te onderzoeken stoffen: zware metalen, minerale olie, chloorbenzenen, BTEX, naftaleen, EOX en VOH. Van deze stoffen bleken met name de zware metalen, minerale olie, BTEX en naftaleen voor te komen in het dempingmateriaal. Op grond van de beschikbare gegevens is geen eenduidige relatie te leggen tussen het dempingmateriaal en daarin voorkomende (groepen van) verontreinigingen.
- Zware metalen worden in hoge concentraties aangetroffen in de grond- en percolaatmonsters. Uit de grondwateranalyses blijkt echter dat deze stoffen niet tot nauwelijks beschikbaar zijn voor het grondwater. In de dempingen is in het algemeen sprake van sulfaatreducerende of ijzerreducerende omstandigheden waardoor zware metalen worden geïmmobiliseerd.
- Minerale olie wordt eveneens regelmatig aangetroffen in hoge concentraties. Een deel hiervan is te verklaren vanuit het humusrijke materiaal, een deel is afkomstig uit de dempingen. De nalevering van minerale olie aan het grondwater is echter, evenals de zware metalen, minimaal.
- Bij de organische verbindingen, vooral BTEX en in mindere mate naftaleen, valt op dat de concentraties ten tijde van de voorgaande onderzoeken (1984 – 1992) veelal hoger waren dan tijdens het verificatie-onderzoek. Naar verwachting zijn deze stoffen onder meer door biologische afbraak grotendeels verdwenen. Sterke fluctuatie van de grondwaterstand in de dempingen gedurende het seizoen draagt hier in belangrijke mate aan bij.

S5.2 Verspreiding naar oppervlaktewater via kopse kant (route 1)

Bij route 1 blijkt met name de aanwezigheid van een aantal zware metalen (zink, koper en nikkel) bepalend te zijn voor het al dan niet optreden van ontoelaatbare verspreiding. Alhoewel de gemeten concentraties van deze stoffen in het grondwater van de dempingen in het algemeen laag zijn overschrijden de concentraties regelmatig de MTR-waarden voor oppervlaktewater. Aangezien deze stoffen in vrijwel alle dempingmaterialen voorkomen is het niet mogelijk om op basis van het type dempingmateriaal een selectie te maken van dempingen, waarbij de toetsingswaarden al dan niet worden overschreden en de standaardmaatregel dus eventueel noodzakelijk is.

S5.3 Verspreiding naar oppervlaktewater via aangrenzende percelen (route 2)

Zowel de berekeningen als de metingen geven aan dat deze route eigenlijk niet relevant is. BTEXN wordt in het geheel niet aangetroffen, zware metalen incidenteel. Uit de berekeningen blijkt dat alleen in situaties waarbij een demping op een rivierduin ligt (geen veenlaag aanwezig tot aangrenzende sloot), op korte termijn doorslag plaats kan vinden. Deze situatie komt (vrijwel) niet voor in het gebied.

S5.4 Verspreiding naar grondwater watervoerend pakket (route 3)

De in het veld gemeten situatie komt in het algemeen goed overeen met de berekende situatie. De gemeten verspreiding van zware metalen (chroom en zink) is incidenteel groter dan volgt uit de berekeningen. Bijstelling van de uitgangspunten en het uitvoeren van een herberekening konden deze afwijkende waarden niet verklaren. Mogelijke verklaringen hiervoor zijn bijmenging/uitzakking van de verontreinigingen of externe verontreinigingsbronnen (bijvoorbeeld mestput).

Op grond van de resultaten van het veld- en laboratoriumonderzoek, de berekeningsresultaten en gebiedsdekkende kaartinformatie betreffende ligging van dempingen, geologie en hydrologie wordt het volgende geconcludeerd:

- Voor het overgrote deel van de dempingen (dempingen op een ongestoord profiel of een diepe geul (geul vanaf circa 8 m-mv)) is deze verspreidingsroute niet relevant, ongeacht de hydrologische situatie (kwel/infiltratie).

- Voor die dempingen die liggen op dagzomende rivierduinen (donken) of ondiepe geulen (geul vanaf circa 3 m-mv) is deze route relevant, afhankelijk van de hydrologische situatie. De meest kritische dempingen zijn gelegen in het noordelijke deel van de Krimpenerwaard waar sprake is van een sterke, structurele infiltratiesituatie alsmede de dempingen rond Stolwijk waar sprake is van een lichte kwelsituatie/overgangssituatie kwel-infiltratie.
- Voor genoemde situaties zal eventuele doorslag binnen afzienbare termijn (50 tot 200 jaar) alleen plaatsvinden voor organische verbindingen (met name benzeen en in mindere mate xylenen).
- Gezien het feit dat deze stoffen in de demping zelf nauwelijks meer worden aangetroffen is het de vraag of deze stoffen het watervoerend pakket in de praktijk ooit bereiken. In ieder geval is de duur van de verspreiding eindig.
- De stroming vanuit een demping naar het watervoerend pakket wordt ook beïnvloedt door de nabijheid van een rivierduin of geulopvulling. Uit berekeningen blijkt dat deze beïnvloeding is beperkt tot een zone van circa 25 meter rond de demping. De beïnvloeding bestaat uit kortere verblijftijden van het grondwater in de deklaag. Echter, doordat het grondwater in deze situaties een langere weg aflegt door het veen vindt meer adsorptie plaats waardoor de verblijftijd van de verontreinigingen juist groter wordt.

S5.5 Standaardmaatregel verspreiding

Op grond van modelberekeningen wordt geconcludeerd dat het afdichten van de kopse kanten effectief is aangezien de directe uitstroom van verontreinigingen naar het oppervlaktewater wordt tegengegaan. De verontreinigingen worden geadsorbeerd aan het organische materiaal van de aangrenzende percelen waardoor de totale verblijftijd van verontreinigingen in het grondwater aanzienlijk toeneemt. De bodem raakt hierdoor echter wel (minimaal) verontreinigd.

De vraag is echter of de maatregel efficiënt is. Dit hangt af van het feit of de investering (in termen van geld, inspanning, overlast omgeving etc.) die moet worden gedaan opweegt tegen het effect van de maatregel (de vrachtreductie van verontreinigingen naar oppervlaktewater). Uit een indicatieve berekening waarbij de totale verontreinigingsvracht vanuit de dempingen is vergeleken met andere vrachten op het oppervlaktewatersysteem (riooloverstorten, ongerioleerde huishoudens, etc.), blijkt dat de dempingen een relatief beperkte bijdrage leveren aan de totale belasting op het oppervlaktewatersysteem.

S5.6 Functiewijziging

Het verificatie-onderzoek richt zich primair op de eventuele verspreiding van verontreinigingen vanuit de dempingen gegeven de huidige situatie (landgebruik, hydrologische condities). In de toekomst echter zal een deel van de Krimpenerwaard een bestemmingswijziging ondergaan waarbij landbouwgebied wordt omgevormd tot natuurgebied. Als onderdeel van het verificatie-onderzoek heeft daarom een eerste verkenning plaatsgevonden van de eventuele effecten van deze functiewijzigingen op de verspreiding van verontreinigingen en de schaal waarop dit eventueel speelt. Hierbij is gekeken naar de effecten van peilopzet en pH-verlaging.

Uit deze verkenning blijkt dat het omvormen van landbouwgebieden naar natuurgebieden in de Krimpenerwaard geen grote gevolgen heeft voor de verspreiding van verontreinigingen. De pH-verlaging zorgt nauwelijks voor extra verspreiding. Bovendien treedt de verzuring slechts op in een zeer klein gebied. Voor 90 tot 95% van de in te richten reservaats- en natuurontwikkelingsgebieden is verzuring geen doelstelling. Door peilopzet nemen de verhangen in horizontale richting af waardoor het transport van verontreinigingen minder snel zal verlopen.

S6 Conclusies

Aan de hand van de resultaten uit het verificatie-onderzoek zijn de aannamen in het bodembeheerplan geverifieerd. In het algemeen wordt geconcludeerd dat de aannamen door het onderzoek zijn bevestigd. Op een aantal punten zijn afwijkingen geconstateerd:

Verspreiding naar oppervlaktewater

- De aanname dat de verontreinigingen in het dempingmateriaal leiden tot I-waarde overschrijdingen in het grondwater is onjuist. Het algemene beeld is dat de gehalten verontreinigende stoffen in het grondwater van de dempingen (de bron) slechts verhoogd zijn ten opzichte van de S-waarden. De gemeten waarden in het grondwater in de omgeving van de dempingen zijn vergelijkbaar of nog lager, zeker geen I-waarde overschrijdingen.
- Alhoewel geen duidelijke verontreiniging van het grondwater in de demping (> I-waarde) kon worden vastgesteld, blijkt voor bepaalde stoffen (met name zink, koper en nikkel) wel een overschrijding van de kwaliteitseisen (MTR-waarden) voor oppervlaktewater op te treden aan de kopse kanten.

Horizontale en verticale verspreiding naar het grondwater

- Horizontale verspreiding van verontreinigingen naar grondwater is minimaal, verspreiding van verontreinigingen naar aangrenzende sloten wordt uitgesloten.
- Er is alleen sprake van mogelijk ontoelaatbare verspreiding van verontreinigingen naar het watervoerend pakket voor dempingen gelegen op een ondiepe geulopvulling (geul vanaf circa 3 m-mv) in een gebied met (sterke) infiltratie. Dempingen gelegen direct op een dagzomende donk komen naar verwachting (vrijwel) niet voor. Eventuele doorslag binnen afzienbare termijn (binnen 50 tot 200 jaar) zal alleen plaatsvinden voor organische verbindingen (met name benzeen en xylenen). Gezien het feit dat deze stoffen in de demping zelf nauwelijks meer worden aangetroffen is het de vraag of deze stoffen het watervoerend pakket in de praktijk ooit bereiken. In ieder geval is de duur van de verspreiding eindig.

S7 Aanbevelingen

Op grond van het uitgevoerde onderzoek worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- In overleg met het bevoegd gezag en de waterkwaliteitsbeheerder bepalen of de standaardmaatregel moet worden uitgevoerd. Zo ja, dan dient deze maatregel verder te worden uitgewerkt.
- Nader uitwerken monitoringsprogramma voor die dempingen waarvoor op termijn mogelijk sprake zal zijn van ontoelaatbare verspreiding naar het watervoerend pakket.

SUMMARY

Verification study – spreading in Krimpenerwaard

S1 Introduction

A regionally oriented soil management plan has been in operation in the Krimpenerwaard since 1998. The soil management plan provides a solution to the soil contamination caused by approximately 5000 ditch dams in the region that supports landscaping and is responsible in terms of environmental hygiene. The solution is founded on the basic assumption that soil contamination must be remediated in a function-oriented manner that prevents the contamination from obstructing the intended functions (agriculture, nature and recreation) of the region.

The soil management plan specifies what situations may possibly be undesirable from the perspective of agriculture, ecology or spreading via (ground)water. As regards spreading, assumptions have been formulated for possible spreading of contamination from dam material to the surface water (either through the tops of the dams or via the adjacent plots) and to the deep groundwater (first water discharge package). The soil management plan also proposed 'sealing the tops' as a standard measure to prevent (impermissible) spreading of contamination to the surface water.

S2 Aim of the verification study

The aim of the verification study was to verify the assumptions formulated in the soil management plan (see below). The verification study must also reveal whether sealing the tops is a sufficiently useful measure in terms of the prevention of contamination spreading to surface water.

S3 Assumptions of the soil management plan

Spreading to surface water

- Spreading to surface water does not occur with non-suspect material.
- Spreading to groundwater always occurs with suspect dam material. The consequence is that the I value in the groundwater is exceeded, which can lead to surface water on the tops of the dammed ditches failing to meet quality requirements.

Spreading to (deep) groundwater

- Neither horizontal nor vertical spreading to groundwater occurs with non-suspect material.
- Horizontal and vertical spreading to groundwater always occurs with suspect material. This leads to an excess in the I value in the (phreatic) groundwater. However, this does not lead to excesses in the first water discharge package, unless the following situation occurs.
- There is only a risk of spreading to the first water discharge package if suspect dam material is on founded sand bars and river dunes that reach ground level in an infiltration situation.

Standard measure against spreading

To prevent undesired spreading to the surface water, the soil management plan includes 'the sealing of the tops of the dams' as a standard measure.

S4 Approach to the verification study

The verification study was divided into a number of activities, with the core elements being modelling and field and laboratory research. Figure S1 illustrates the verification study and provides an explanation of the different activities.

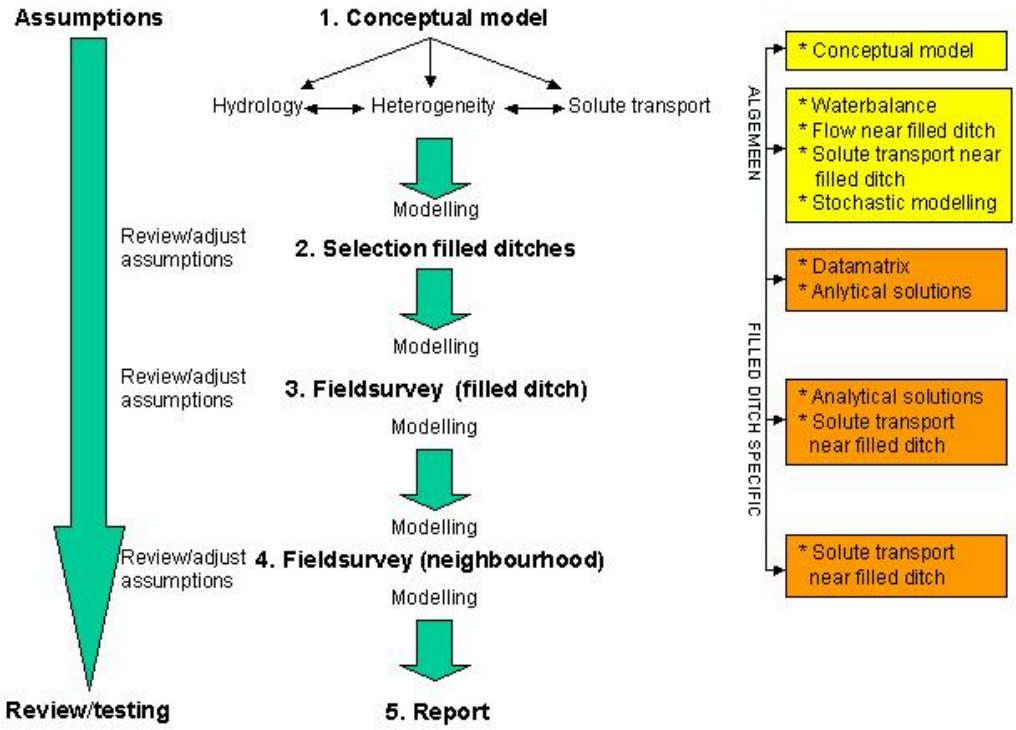


Fig. S1. Approach to the verification study.

S4.1 Model creation

A literature study was the basis of the creation of a conceptual model that contains a coherent description of the (hydrological and substance transportation) processes that are relevant for the spreading of contamination from the dams to groundwater and surface water. This conceptual model formed the basis of the (numerical) groundwater flow and substance transportation models that were subsequently created:

- Numerical 2D-model (Triwaco [Iwaco,2001]) for studying the effects of (differences in) soil structure on the flows of groundwater from the dam to the water discharge package.
- Numerical 3D model (Triwaco [Iwaco,2001]) for studying the specific flows in and around the dams, whereby the emphasis is on the horizontal flow of groundwater from the dams to the surface water (through the top and adjacent plots).
- Analytical and numerical substance transportation calculations for the determination of the breaking point and the course of the breakthrough of contamination into surface water and the water discharge package over time.

As regards groundwater flow calculations, a stationary situation (average annual rainfall overflow) was assumed. In addition, non-stationary calculations were carried out in order to study the effects of variations in rainfall and evaporation on groundwater flows during the season.

The substance transportation calculations were carried out for different groups of contaminants. Contaminants that adsorb (linear/non-linear), and contaminants that adsorb and then degrade.

An important parameter when creating models is the soil structure under/in the surroundings of the dam. The soil profiles used are shown in figure S2.

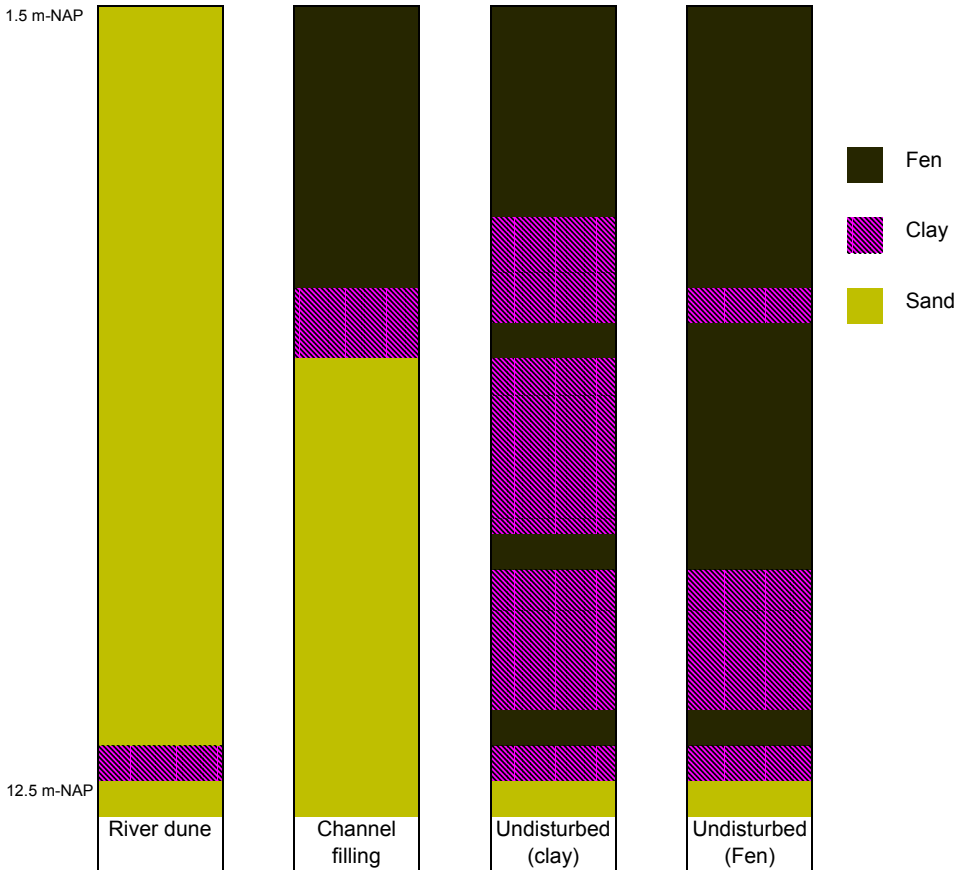


Fig. S2. Soil profiles in modelling.

S4.2 Selection of dams for field studies

The modelling shows that the source concentration, soil structure and hydrology are important factors in spreading. Field studies are underway at a selection of dams. To allow scaling up of the results of the field and laboratory tests to all situations occurring in the Krimpenerwaard, as much account as possible was taken of differences in the dam material, soil structure and geohydrology during the selection of dams. A total of 18 dams were selected for the first round of field and laboratory research.

S4.3 First round of field and laboratory research

The aim of the first round of field and laboratory research was to gain more knowledge on:

- the geometry of the dams (location/depth/width);
- the nature and composition of the dam material;
- the process conditions in the dam material.

An excavator was used to dig sampling holes down to the undersides of the dam material. Samples were taken of:

- soil in the dam;
- the groundwater that flows into the holes that were dug (unfiltered, immediately after excavation), hereafter to be referred to as percolate;
- the groundwater that is pumped up out of the measuring tubes in the holes (filtered, subsequent to a waiting period), hereafter to be referred to as groundwater.

The percolate samples provide an indication of the composition of the dam material (types of substances and degree of contamination). The filtered groundwater samples indicate which part of the contamination in the dam material is available for spreading via the groundwater.

The samples were analysed for a number of substances. These substances are selected on the basis of literature studies and the results of previous soil studies of dams.

S4.4 Modelling after the first round of field and laboratory studies

The results of the first round of field and laboratory studies were used to determine the source term (types and degrees of contamination). This source term was used as input for the model calculations. The spread of contamination from the dams under examination was calculated. This took account of differences in soil structure and geohydrology. The results of these calculations were used in the creation of the research hypothesis (degree of spreading along various routes) for the second round of field and laboratory studies.

S4.5 The second round of field and laboratory studies

This research focused on:

- determining the spread of contamination from the dam material to the surface water and deep groundwater;
- determination of the process conditions in the vicinities of the dams;
- determination of the reference situation.

The dams that were studied are a selection of the dams visited previously.

S4.6 Modelling subsequent to the second round of field and laboratory studies

The results of the second round of field and laboratory studies were then compared with the results of the model calculations. If results deviated, an explanation for the differences was sought. An additional model calculation was conducted for a number of specific cases.

S4.7 Drawing up the final report

The final report was then drawn up. This contains a description of the relationships between the different research results (synthesis) and a final evaluation of the assumptions in the soil management plan. This is followed by a formulation of the conclusions and assumptions.

S5 Results of the verification study

The most important results of the verification studies are described below:

1. Nature and composition of the dam material;
2. Spreading of contamination via routes 1, 2 and 3;
3. Evaluation of the ‘seal the top’ measure;
4. Influence of future changes in function on spreading.

S5.1 Nature and composition of the dam material

- An inventory of available (literature) data was used as the basis of a selection of substances to be studied: heavy metals, mineral oil, chlorobenzenes, BTEX, naphthalene, EOX and VOH. Of these substances, it was the heavy metals, mineral oil, BTEX and naphthalene in particular that occurred in the dam material. The available data did not constitute grounds for the establishment of an unequivocal relationship between the dam material and (groups of) contamination occurring in it.
- High levels of heavy metals were detected in the soil and percolate samples. However, the groundwater analyses revealed that these substances are not or hardly available for the groundwater. The conditions in the dams are generally sulphate reducing or iron reducing, which immobilises heavy metals.

- High concentrations of mineral oil were also detected regularly. This can be explained, in part, by the humus-rich material, some of which comes from the dams. However, the subsequent delivery of mineral oil into the groundwater is, as is the case with heavy metals, minimal.
- As regards the organic compounds, especially BTEX and naphthalene to a lesser extent, it is striking that the concentrations measured during the previous studies (1984 – 1992) were usually higher than during the verification study. It is expected that these substances have largely disappeared, partly due to the influence of biological degradation. Significant fluctuations in the groundwater level during the season are also important factors in this.

S5.2 Spreading to surface water through the tops (route 1)

In route 1, it is particularly the presence of a number of heavy metals (zinc, copper and nickel) that determine the occurrence of impermissible spreading. Although the concentrations of these substances detected in the groundwater at the dams is generally low, the concentrations regularly exceed the MPR values for surface water. The fact that all these substances are present in almost all dam materials makes it impossible to select dams on the basis of the type of dam material, whereby the testing values may or may not be exceeded and the standard measure may be required.

S5.3 Spreading to groundwater via adjacent plots (route 2)

Both the calculations and the measurements indicate that this route is actually irrelevant. BTEXN was not detected, and heavy metals were only detected incidentally. The calculations show that a breakthrough can only take place in the short term in situations where a dam is located on a river dune (no fen layer present to adjacent ditch). This situation is extremely rare in the region.

S5.4 Spreading to groundwater water discharge package (route 3)

The situation measured in the field generally corresponds well with the calculated situation. The measured spread of heavy metals (chrome and zinc) is incidentally greater than was predicted by the calculations. Adjustment of the points of departure and the execution of a recalculation could not explain these deviations. Possible explanations are the admixing/subsidence of the contaminants or extreme contamination sources (e.g. silage pits).

The results of the field and laboratory studies, the results of calculations and regional charts on the location of dams, geology and hydrology lead to the following conclusions:

- This spreading route is irrelevant for the great majority of dams (dams on an undisturbed profile or a deep channel (channel from approximately 8 metres below ground level), regardless of the hydrological situation (percolation/infiltration).
- This route is relevant to those dams located on river dunes that reach ground level or shallow channels (channel from approximately 3 metres below ground level), depending on the hydrological situation. The most critical dams are located in the northern section of the Krimpenerwaard, where there is a strong, structural infiltration situation, and the dams around Stolwijk, where there is a moderate percolation/transition situation – percolation infiltration.
- For the situations specified above, a breakthrough within the foreseeable future (50 to 200 years) will only take place for organic compounds (particularly benzene and xylenes to a lesser extent).
- The fact that these substances are now rarely detected in the actual dams raises the question of whether these substances ever reach the water discharge package in practice. In any case, the spreading has a finite duration.
- The flow from a dam to the water discharge package is also influenced by the proximity of river dunes or channel fillings. Calculations show that this influence is limited to a zone extending to approximately 25 metres from the dam. The influence consists of shorter retention periods for the water in the covering layer. However, the fact that the groundwater in these

situations travels for a longer distance through the fen means that more adsorption takes place, which actually increases the retention period of the contamination.

S5.5 Standard measure against spreading

The model calculations prompt the conclusion that sealing the tops is effective in view of the fact that it prevents the direct outflow of contaminants to surface water. The contaminants are adsorbed to the organic material in the adjacent plots, which considerably increases the retention period of contaminants in the groundwater. However, the soil does then become (slightly) contaminated.

However, the question is whether the measure is efficient. This depends on whether the investment (in terms of money, effort, nuisance to the surroundings, etc.) outweighs the effect of the measure (the load reduction of contamination to surface water). An indicative calculation whereby the total contamination load from the dams is compared with other loads on the surface water system (sewer overflows, households without sewers, etc.) has revealed that the dams make a relatively small contribution to the total load on the surface water system.

S5.6 Function adjustment

The verification study was geared primarily to the possible spreading of contamination from the dams in the current situation (land use, hydrological conditions). However, a part of the Krimpenerwaard will undergo a zoning adjustment that will involve the conversion of agricultural land into nature areas. This is why the verification study included an initial exploration of the possible effects of these function adjustments on the spreading of contamination and the scale at which these may occur. This involved studying the effects of the layout of the measuring tubes and the reduction in the pH level.

This exploration showed that the conversion of agricultural areas in the Krimenperwaard will not have any great effect on the spreading of contamination. The reduction in pH will cause hardly any extra spreading. Furthermore, acidification only takes place in a very small area. Acidification is not an aim for 90 to 95% of the reservation and nature development areas to be created. The layout of the tubes will reduce the horizontal gradient, which will then reduce the speed at which contamination is transported.

S6 Conclusions

The results of the verification study verified the assumptions in the soil management plan. The general conclusion was that the assumptions were confirmed by the research. Deviations were observed in a number of aspects:

Spreading to surface water

- The assumption that the contamination in the dam material causes I values to be exceeded in the groundwater is incorrect. The general picture is that the levels of contaminating substances in the groundwater at the dams (the sources) is only increased in relation to the T values. The values measured in the groundwater in the surroundings of the dams are comparable or even lower and certainly do not exceed the I value.
- Although no clear contamination of the groundwater in the dam (> I value) could be detected, certain substances (particularly zinc, copper and nickel) did exceed the quality requirements (MPR values) for surface water on the tops.

Horizontal and vertical spreading to groundwater

- Horizontal spreading of contamination to groundwater and spreading of contamination to adjacent ditches is minimal.
- There is only possible impermissible spreading of contamination to the water discharge package at dams located on shallow channel fillings (channel from approximately 3 metres below ground level) in areas with (strong) infiltration. It is expected that dams located directly on top of a river dune that reaches ground level will not (or hardly) occur. A breakthrough within the foreseeable future (50 to 200 years) will only take place for organic compounds (particularly benzene and xylenes).
- The fact that these substances are now rarely detected in the actual dams raises the question of whether these substances ever reach the water discharge package in practice. In any case, the spreading has a finite duration.

S7 Recommendations

The following recommendations are made on the basis of the study conducted:

- Determine whether the standard measure is to be implemented in consultation with the competent authority and the water quality manager. If so, this measure must be worked out in more detail.
- Detail the monitoring programme for those dams where impermissible spreading to the water discharge package may occur in the long term.

BEGRIPPENLIJST

Adsorptie	Het hechten van verontreinigingen aan vaste bodemdeeltjes
Adsorptiecapaciteit	De beschikbare vaste bodemdeeltjes waaraan verontreinigingen zich kunnen adsorberen
Afbraak	Omzetting van verontreinigingen tot uiteindelijk onschadelijke eindproducten
Bodembeheerplan	Document dat een landinrichtingsondersteunende en milieuhygiënische verantwoorde oplossing beschrijft voor de bodemverontreiniging als gevolg van circa 5000 slootdempingen in de Krimpenerwaard
Bodempassage	Stroming van grondwater, al dan niet met opgeloste verontreiniging, door de bodem
BOOM/BIKI	Database van de Stichting Bodembeheer Krimpenerwaard met historische informatie over de dempingen
Carcinogeen	Kankerverwekkend
Conceptueel model	Een samenhangende beschrijving van processen die van belang zijn voor het verkrijgen van inzicht in de grondwaterstroming en het stoftransport in en rond de dempingen
Dagzomend	Tot aan het maaiveld
Dispersie	Menging van de in de waterfase opgeloste stoffen door de stroming van het grondwater en de heterogeniteit van de bodem
DOC	Dissolved organic carbon (Opgelost organische stof)
Donk	Dagzomende rivierduin
Effectieve porositeit	Dat deel van het bodemvolume waardoor stroming van grondwater plaatsvindt
EOX	Extraheerbare organische halogeenverbindingen
Geulopvulling	Insnijdingen van rivieren in de deklaag (klei/veen) die later weer zijn opgevuld met fijne tot matig grove zanden
Grondwatermonster uit demping	Gefiltreerd watermonster uit het dempingmateriaal. Genomen als grondwatermonster via een peilbuis, minimaal 1 week na plaatsing van de peilbuis
Kopse kant sloot	De kant van de demping die direct gelegen is aan een sloot
Lineaire adsorberende stoffen	De relatie tussen de hoeveelheid geadsorbeerde stof en de hoeveelheid stof in oplossing is lineair

Lithocliene karakteristiek	Regenwater karakteristiek
Macrochemie	Een verzameling stoffen aan de hand waarvan een beschrijving kan worden gegeven van de processen die plaatsvinden in de bodem zoals biologische afbraak, het neerslaan of in oplossing gaan van stoffen
Microchemie	Een verzameling stoffen die een beschrijving geeft van de verontreinigingen aanwezig in grond en grondwater
MTR-waarde	Maximaal Toelaatbare Risico waarde, een concentratie die de minimum kwaliteit van het oppervlaktewater aangeeft
NAPL (LNAPL / DNAPL)	Non Aqueous Phase Liquid (Light NAPL / Dense NAPL). Stoffen die respectievelijke een veel geringere/grotere dichtheid hebben dan grondwater en daardoor in hoge concentraties als drijflaag of zaklaag aanwezig kunnen zijn in de bodem
Niet lineair adsorberende stoffen	De relatie tussen de hoeveelheid geadsorbeerde stof en de hoeveelheid stof in oplossing is niet lineair
Niet reactieve stoffen	Deze stoffen ondergaan geen reactie met bodemdeeltjes
Normstelling	Wanneer is wel/geen sprake van een ontoelaatbare situatie
Ongestoord klei-/veenprofiel	Bodemopbouw met afwisselde klei-/veenlagen, vanaf maaiveld tot aan het Pleistoceen (watervoerende) zandpakket op circa 11 m-mv
Opschalling	Het vertalen van (meet)gegevens van dempingen naar uitspraken voor de gehele Krimpenerwaard
Precipitatie	Vastlegging van verontreinigingen door inbouwing in nieuwe vaste deeltjes
Percolaatmonster uit demping (percolaat)	Niet gefiltreerd watermonster afkomstig uit het dempingmateriaal. Genomen uit een machinaal gegraven gat, zonder filtratie. Monstername vergelijkbaar met oppervlaktewaterbemonstering
Rivierduin	Pleistoceen zand dat onder invloed van wind is opgeblazen. In de hierop volgende periode (Holoceen) is hieroverheen de deklaag (klei/veen) afgezet. Deze rivierduinen kunnen in hoogte verschillen en reiken maximaal tot aan het maaiveld
SORWACO	Numeriek model dat geschikt is voor stoftransportmodellering
Stochastische methode	Een methode gebaseerd op statistiek
S/T/I-waarde	Streefwaarde, Tussenwaarde en Interventiewaarde, kwaliteitsnormen voor grond en oppervlaktewater
TOC	Total Organic Carbon (totaal organische stof)

Topsysteem	Systeem waarin beschreven wordt hoe neerslagwater wordt afgevoerd naar grondwater en oppervlaktewater
Verhang	Verloop van de grondwaterstand, verschil in grondwaterstand per lengte-eenheid
Vervluchtiging	Verdampen van vluchtige verontreinigingen
Vrachtbenadering	Methode waarbij gekeken is hoeveel verontreinigingen (kg/jaar) vanuit de dempingen in het oppervlaktewater stromen. Deze totale vracht is vergeleken met andere vrachten op het oppervlaktewatersysteem, bijvoorbeeld via riooloverstorten. Zodoende kunnen uitspraken worden gedaan over de relatieve bijdrage van een bepaalde vracht op de totale vracht aan verontreinigingen
VOH	Vluchtige organische halogenen

HOOFDSTUK 1

INLEIDING

Achtergrond

De Krimpenerwaard is een groot veenweidegebied (ca. 12.000 ha) in het Zuid-Hollandse deel van het Groene Hart. De beleidsmatige voornemens met betrekking tot behoud en versterking van de groene functies, zoals natuur, landbouw en recreatie, hebben sterk te kampen gehad met stagnatie ten gevolge van bodemverontreiniging door slootdempingen in het gebied. Grondruil ten behoeve van de landinrichting kwam niet op gang. In 1998 is daarom in de Krimpenerwaard een gebiedsgericht bodembeheerplan in werking getreden. Dit bodembeheerplan is tot stand gekomen door nauwe samenwerking tussen de provincie Zuid-Holland, de Ministeries van VROM-DGM en LNV, de Landinrichtingscommissies, het Hoogheemraadschap, het Zuiveringschap, de Stichting Zuid-Hollands Landschap, de Westelijke Land- en Tuinbouworganisatie en de plaatselijke gemeenten.

Het bodembeheerplan geeft een landinrichtings-ondersteunende en milieuhygiënisch verantwoorde oplossing voor de bodemverontreiniging. De oplossing is gebaseerd op het uitgangspunt dat de bodemverontreiniging functiegericht wordt gesaneerd, waarbij de bodemverontreiniging geen beperking mag vormen voor de beoogde functies (wonen, landbouw, natuur en recreatie) in het gebied.

In het bodembeheerplan zijn aannamen gedaan ten aanzien van het al of niet bestaan van nadelige milieuhygiënische en fysische effecten van slootdempingen en ten aanzien van de effectiviteit van de voorgestelde maatregelen om deze nadelige effecten tegen te gaan. In het onderzoek ‘verificatie van de risico’s van bodemverontreinigingen in de Krimpenerwaard’, ook het verificatie-onderzoek genoemd, worden deze aannamen getoetst.

Het onderhavige rapport betreft de eindrapportage van het deelonderzoek verspreiding van dit verificatie-onderzoek. Wanneer alle onderdelen van het verificatie-onderzoek zijn afgerond (eind 2003) zal een integrale rapportage worden uitgebracht, waarin alle resultaten worden verwerkt.

Het verificatie-onderzoek wordt uitgevoerd in opdracht van de Stichting Kennisontwikkeling en Kennisuitwisseling Bodem (SKB) en de Stichting Bodembeheer Krimpenerwaard (SBK). De uitvoering is in handen van het onderzoeksinstituut Alterra, de Wageningen Universiteit en het adviesbureau Royal Haskoning. De penvoerder is Royal Haskoning, deels gezamenlijk met het Nutriënten Management Instituut (NMI). De communicatie die bij het onderzoek hoort, wordt gedaan door Van der Brugge Communicatie Advies.

Algemene probleemstelling verificatie-onderzoek

In het bodembeheerplan zijn diverse aannamen gedaan met betrekking tot de chemische samenstelling van het dempingmateriaal, de afdeklaag en de aan- of afwezigheid van mogelijke risico’s. Op grond van kwalitatieve en deels kwantitatieve informatie zijn de dempingen in vijf groepen ingedeeld. Deze indeling is gebaseerd op de criteria: (i) verdacht of onverdacht dempingmateriaal; (ii) een voldoende (aangenomen is dat 30 cm voldoende is) of onvoldoende dikte van de afdeklaag en (iii) wel of geen verdachte bijmenging in de afdeklaag. In tabel 1 is de indeling in de verschillende groepen weergegeven.

Tabel 1. Indeling dempinglocaties in groepen (volgens Bodembeheerplan Krimpenerwaard 1998).

Groep	Deklaag	Demping-materiaal	Aanname	Percentage van totaal aantal dempingen
A	Mogelijk verdachte bijmenging en < 0,3 m	Verdacht	Mogelijk landbouwkundige, ecologische en verspreidingsrisico's aanwezig	38
B	Geen verdachte bijmenging en > 0,3 m	Verdacht	Mogelijk verspreidingsrisico's aanwezig	4
C	Verdachte bijmenging	Onverdacht	Mogelijk landbouwkundige en ecologische risico's aanwezig	0
D	Onverdacht	Onverdacht	Risico's afwezig	7
E	Onvoldoende gegevens	Geen aanname		51

Verder is er een indeling gemaakt op basis van categorieën dempingmateriaal. Deze categorieën zijn gebaseerd op de herkomst van het dempingmateriaal. De verdachte categorieën dempingmateriaal betreffen: bouw- en sloopafval, shredder, lompen, huishoudelijk afval, industrieel- en bedrijfsafval en scheepsafval. Daarnaast is bagger als een mogelijk verdachte categorie aangemerkt.

Het verificatie-onderzoek heeft tot doel:
- het verifiëren van de juistheid van de aannamen, zoals geformuleerd in het bodembeheerplan ten aanzien van het optreden van nadelige effecten (landbouwkundig, ecologisch en verspreiding) en;
- het verifiëren van de effectiviteit en duurzaamheid van het in het bodembeheerplan voorgestelde maatregelenpakket.

Doelstelling verificatie-onderzoek verspreiding
De genoemde probleemstelling geldt zowel voor de aspecten landbouw, ecologie en verspreiding. Voor het verificatie-onderzoek verspreiding zijn de volgende specifieke doelstellingen geformuleerd.

Hoofddoelstelling
Het hoofddoel van het verificatie-onderzoek is het toetsen van de aannamen uit het bodembeheerplan met betrekking tot het onderdeel verspreiding, te weten:
1. Verspreiding naar oppervlaktewater
   a Verspreiding naar oppervlaktewater vindt niet plaats bij onverdacht materiaal.
   b Verspreiding naar grondwater vindt altijd plaats bij verdacht materiaal;
      - dit leidt tot overschrijdingen van de I-waarde in het grondwater;
      - kan leiden tot overschrijdingen van kwaliteitseisen in het oppervlaktewater aan de kopse kanten van de gedempte sloten.
2. Verspreiding naar (diep) grondwater
   a Zowel horizontale als verticale verspreiding naar grondwater vinden niet plaats bij onverdacht materiaal.
   b Horizontale en verticale verspreiding naar grondwater vinden altijd plaats bij verdacht materiaal;
      - dit leidt tot overschrijding van de I-waarde in het (freatisch) grondwater;
      - dit leidt niet tot overschrijdingen in het eerste watervoerend pakket, behalve bij dempingen met verdacht dempingmateriaal op gefundeerde zandbanen en donken in een infiltratiesituatie.

3. Standaardmaatregel verspreiding
   In het bodembeheerplan is, om eventuele ongewenste verspreiding naar oppervlaktewater tegen te gaan 'het afdichten van de kopse kanten van de dempingen' opgenomen als standaardmaatregel. Uit het verificatie-onderzoek zal moeten blijken of het afdichten van de kopse kanten een afdoende en zinvolle maatregel is om verspreiding naar oppervlaktewater tegen te gaan.

   Bij de aanvang van het project is besloten om de aannamen 1a en 2a niet te toetsen, maar het onderzoek alleen te richten op de verdachte en mogelijk-verdachte dempingcategorieën. Dit komt neer op alle dempingen uit de categorieën A en B (voor de ligging van deze dempingen zie kaart 1):
   - categorie A: (mogelijk) verdacht demping materiaal, deklaag < 30 cm dik, mogelijk verdachte bijmenging;
   - categorie B: (mogelijk) verdacht demping materiaal, deklaag ≥ 30 cm dik, geen verdachte bijmenging.

Afgeleide doelstellingen

1. Toetsingskader
In het bodembeheerplan is het uitgangspunt voor het toetsingskader beschreven. Voor oppervlaktewater wordt als criterium de MTR-waarde aangehouden voor de verschillende stoffen. Voor het (diepe) grondwater geldt de streefwaarde (in drinkwaterwingebieden) danwel de huidige achtergrondkwaliteit (in overige gebieden). In het verificatie-onderzoek worden eventuele argumenten aangedragen om deze toetsingscriteria (gedeeltelijk) bij te stellen, dan wel worden de huidige criteria nogmaals vastgesteld. Verder worden keuzes aangedragen voor de technische uitwerking van het toetsingskader. Op grond hiervan dienen de bevoegde gezagen (provincie Zuid-Holland, Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden) te beslissen over eventuele bijstelling van het toetsingskader.

2. Onzekerheid (meet)gegevens en heterogeniteit dempingmateriaal/ondergrond
Om te voorkomen dat de uiteindelijke uitspraken met betrekking tot (wijzigingen in) het bodembeheerplan maatschappelijk niet geaccepteerd worden dient in het bijzonder aandacht te worden besteed aan het in voldoende mate wegnemen van onzekerheden met betrekking tot:
- de beschrijving van processen en;
- de ruimtelijke en temporele variabiliteit van processen die van invloed zijn op de inschatting van de mate van verspreiding van verontreinigingen.

Leeswijzer
Het onderzoek bestaat uit een aantal deelactiviteiten. De resultaten van deze deelactiviteiten zijn tussentijds afzonderlijk gerapporteerd in een aantal notities. Dit eindrapport geeft een totaalbeschrijving van het onderzoek, waarbij de resultaten van de deelactiviteiten zijn samengevoegd. Het hoofdrapport geeft de grote lijn van het onderzoek weer en richt zich met name op de toetsing en eventuele bijstelling van de aannamen uit het bodembeheerplan. In het bijlagenrapport, dat als CD-ROM aan het hoofdrapport is toegevoegd zijn de achtergronden, data, veldonderzoeks- en laboratoriumresultaten, etc. van het onderzoek opgenomen.

Degenen die met name geïnteresseerd zijn in de eindconclusies van het onderzoek en de consequenties hiervan voor het bodembeheerplan bevelen wij aan de samenvatting te lezen. Voor de lezer die meer geïnteresseerd is in de afzonderlijke deelresultaten bevelen wij het hoofdrapport aan, met name hoofdstuk 3, 4, 5, en 6. Het bijlagenrapport is met name interessant voor diegenen die geïnteresseerd zijn in de inhoudelijke achtergronden van het onderzoek.

Hoofdstuk 2 van dit rapport geeft de aanpak van het onderzoek weer, alsmede een beschrijving van de uitgevoerde werkzaamheden en activiteiten op hoofdlijnen. In de hoofdstukken 3 tot en met 6 worden de resultaten van de verschillende deelactiviteiten beschreven. Vervolgens worden in hoofdstuk 7 de resultaten van de deelactiviteiten in onderlinge samenhang geëvalueerd (Synthese). Hierna volgt een beschrijving van de resultaten van de onderzoeken naar 'heterogeniteit' (hoofdstuk 8), toetsingskader (hoofdstuk 9) en wijziging landgebruik (hoofdstuk 10). Vervolgens worden in hoofdstuk 11 de conclusies van het onderzoek behandeld, waarbij een eindbeoordeling plaatsvindt aan de (hoofd)doelstellingen van het onderzoek. In hoofdstuk 12 tenslotte zijn de aanbevelingen opgenomen.

HOOFDSTUK 2

AANPAK EN BESCHRIJVING UITGEVOERDE WERKZAAMHEDEN EN ACTIVITEITEN

In figuur 1 is de algemene opzet van het verificatie-onderzoek verspreiding weergegeven. Het verificatie-onderzoek is onderverdeeld in een aantal activiteiten met modellering als rode draad. Door modellering zijn de gedachten geordend en de diverse processen in onderlinge samenhang geplaatst, waardoor het inzicht in de processen is vergroot. Tijdens de uitvoering van het onderzoek zijn aannamen gedaan die sturend zijn geweest voor de keuzes van experimenten of metingen.

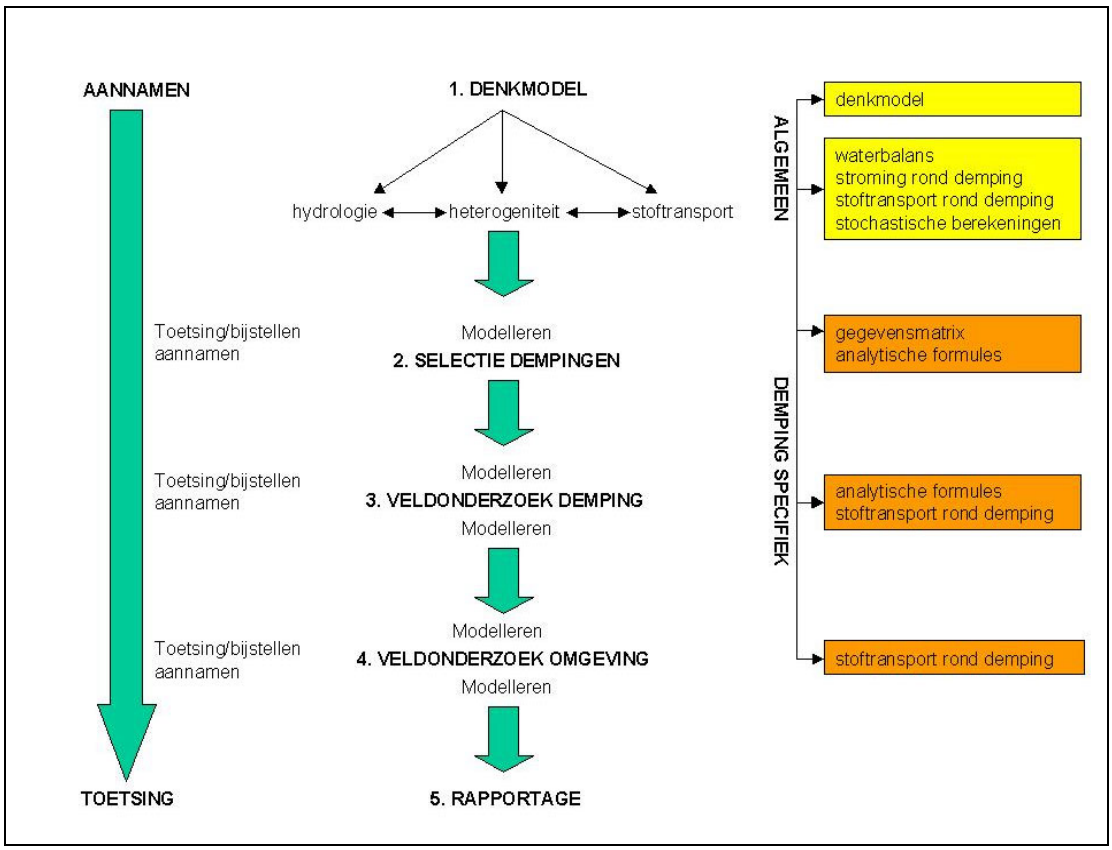


Fig. 1. Algemene opzet verificatie-onderzoek verspreiding.

Het onderzoek bestaat uit de volgende activiteiten:

Activiteit 1: Opstellen conceptueel model (denkmodel);
Activiteit 2: Selectie dempingen;
Activiteit 3: Eerste fase veld- en laboratoriumonderzoek (veldonderzoek dempingen);
Activiteit 4: Tweede fase veld- en laboratoriumonderzoek (veldonderzoek omgeving);
Activiteit 5: Rapportage.

Onderstaand is per activiteit een beschrijving op hoofdlijnen gegeven van de uitgevoerde werkzaamheden.

Activiteit 1: Opstellen conceptueel model (denkmodel)
Er zijn onderzoeksvragen geformuleerd aan de hand waarvan de aannamen uit het bodembeheerplan zijn getoetst. Aan de hand van de conceptuele modellering ('denkmodel') zijn de relevante (fysische, chemische en biologische) processen beschreven en hun onderlinge samenhang. Er is een overzicht gemaakt van de informatie die noodzakelijk is voor deze beschrijving en vervolgens zijn deze gegevens verzameld en zo goed mogelijk vertaald naar modelmatige parameters.

Deze gegevensanalyse heeft geleid tot een vereenvoudigde voorstelling en algemene beschrijving van relevante, primaire processen die de basis vormt voor verdere modelvorming.

Activiteit 2: Selectie dempingen
De algemeen geldende, primaire processen zijn vertaald naar de situatie voor een aantal specifieke (groepen van) dempingen in de Krimpenerwaard. Hierbij is het 'denkmodel' omgezet naar een grondwaterstromings- en stoftransportmodel. De dempingen zijn geselecteerd op samenstelling van het dempingmateriaal, bodemopbouw en hydrologie. Op grond van de resultaten van de berekeningen heeft een eerste toetsing van de bestaande aannamen uit het bodembeheerplan plaatsgevonden en zijn aanbevelingen opgesteld voor het uitvoeren van de eerste ronde veld- en laboratoriumonderzoek (zowel wat betreft meet- en analyseplan als te onderzoeken dempingen).

Activiteit 3: Eerste fase veld- en laboratoriumonderzoek (veldonderzoek dempingen)
Op een selectie van dempingen is veld- en laboratoriumonderzoek uitgevoerd. Het onderzoek betrof de aard en samenstelling van het dempingmateriaal. Doel hiervan is geweest:
- toetsing aannamen aard en samenstelling dempingmateriaal;
- verzamelen extra gegevens met betrekking tot relevante processen in dempingen;
- interpretatie en terugkoppeling van de meetgegevens aan bestaande modelresultaten;
- eventuele bijstelling van aannamen en nadere selectie van dempingen voor vervolgonderzoek.

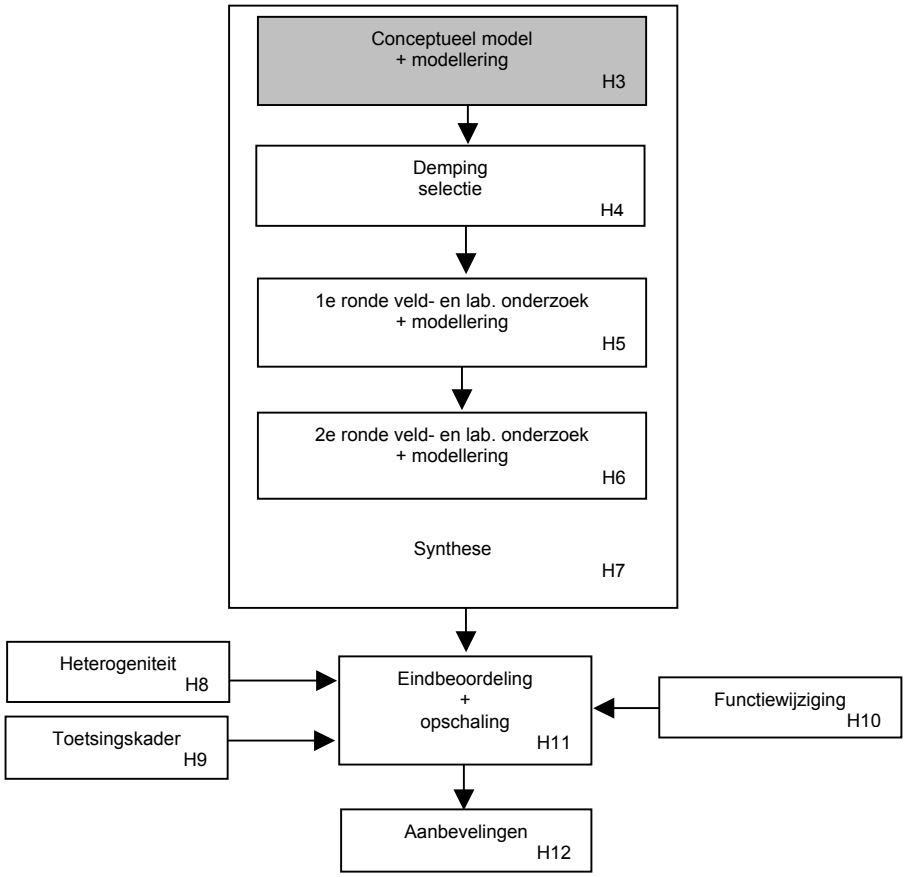
Activiteit 4: Tweede fase veld- en laboratoriumonderzoek (veldonderzoek omgeving)
Op een selectie van dempingen, onderzocht tijdens activiteit 3, is vervolgens een tweede ronde veld- en laboratoriumonderzoek uitgevoerd. Doel van dit deel van het onderzoek is verificatie van de verspreiding die is voorspeld op basis van de modelberekeningen.
De veldonderzoeksresultaten zijn getoetst aan de berekeningsresultaten en toetsingswaarden voor grond en grondwater.

Activiteit 5: Rapportage
De resulaten van elke deelactiviteit zijn vastgelegd in losse notities die zijn besproken met – danwel voorgelegd aan – de begeleidingsgroep. Bij elke rapportage is de relatie gelegd tussen meetgegevens, berekeningsresultaten en de aannamen uit het bodembeheerplan. In de eindrapportage zijn de bevindingen van het gehele onderzoek samengevat en is een eindbeoordeling gegeven inzake de in hoofdstuk 1 genoemde (hoofd)doelstellingen.

HOOFDSTUK 3

CONCEPTUEEL MODEL EN MODELLERING

3.1 Algemeen



Een conceptueel model is een samenhangende beschrijving van processen die relevant zijn voor het verkrijgen van inzicht in de (mate van) verspreiding van verontreinigingen vanuit de dempingen naar grond- en oppervlaktewater. Allereerst wordt aandacht besteed aan de gegevens die verzameld zijn en die de basis vormden voor het conceptuele model (3.2). Vervolgens wordt het conceptuele model beschreven (3.3) en vandaar uit hoe het conceptueel model is gebruikt voor het opzetten van grondwaterstromings- en stoftransportmodellen (3.4).

3.2 Gegevensverzameling

In deze paragraaf zijn de belangrijkste gegevens afkomstig uit de literatuurstudie samengevat. De complete set aan gegevens is beschreven in bijlage A. Ondermeer zijn de volgende onderwerpen bestudeerd:

- geologie;
- hydrologie;
- aard en samenstelling dempingmateriaal;
- optredende stoftransportprocessen.

3.2.1 *Geologie*

Op basis van de geologische kaart 1: 50.000 (Staalduinen, 1979) zijn in figuur 2 de meest relevante geologische profielen weergeven, zoals die voorkomen in de Krimpenerwaard. In kaart 2 is de ruimtelijke verdeling van deze geologische profielen weergegeven.

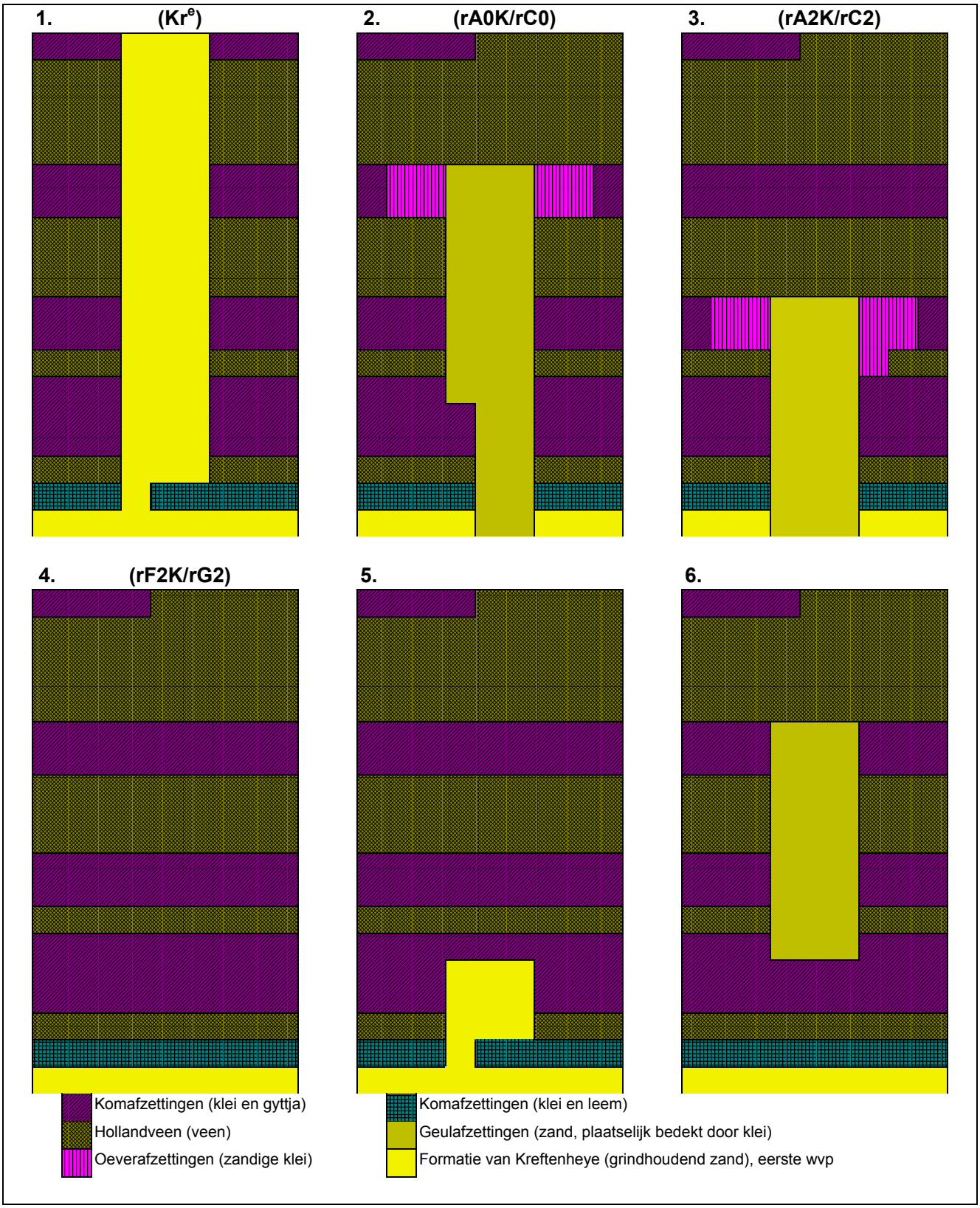


Fig. 2. Profieltypen geologie.

3.2.2 *Hydrologie*

De grondwaterstroming in en rond de dempingen wordt beïnvloed door een aantal factoren, o.a. neerslag, polderpeil, geometrie, stijghoogte in watervoerend pakket en doorlatendheid van bodem en dempingmateriaal. Belangrijke parameters voor het in beeld brengen van de vertikale grondwaterstroming (kwel/infiltratie) zijn de stijghoogte in het regionale watervoerend pakket en de freatische grondwaterstand, met name bepaald door het polderpeil. Om inzicht te krijgen in het stijghoogteverloop zijn stijghoogtemeetreeksen opgevraagd van het watervoerend pakket van de periode 1990 – 2000 (DINO, NITG/TNO) en Hydron Zuid-Holland. De gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste stijghoogte is weergegeven in de kaarten 5a en 5b. Verder zijn bij het Hoogheemraadschap van de Krimpenerwaard [Jaarverslag 1995] de polderpeilen opgevraagd (situatie 1995), zie kaart 4. Uit een vergelijking van deze kaarten valt op te maken dat er in het zuiden van de Krimpenerwaard kwel optreedt vanuit de Lek en in mindere mate in het oosten vanuit de Lopikerwaard en de Vlist. In de noordelijke helft van de Krimpenerwaard vindt infiltratie van water plaats naar de zeer diep gelegen Zuidplaspolder en de Willem Alexanderpolder (circa 6 meter – NAP). In het centrale deel van de Krimpenerwaard is het stijghoogteverschil over de deklaag gering waarbij afhankelijk van het seizoen kwel danwel infiltratie optreedt.

Over de representativiteit van de gebruikte gegevens betreffende polderpeil en stijghoogte, mede in relatie tot historische meetreeksen is in bijlage C een beschouwing opgenomen.

3.2.3 *Aard en samenstelling dempingmateriaal*

In het bodembeheerplan zijn in totaal 7 typen dempingmateriaal gedefinieerd als (mogelijk) verdacht, te weten:

- Bouw- en sloopafval;
- Huishoudelijk afval;
- Industrieel en bedrijfsafval;
- Shredder;
- Lompen;
- Scheepswerfafval;
- Baggerspecie.

De gegevens over de aard en samenstelling van eerder onderzocht dempingmateriaal zijn samengevat en geïnterpreteerd. Hierbij is gebruik gemaakt van de gegevens uit de databases BOOM/BIKI (opgesteld in het kader van het uitgevoerde vooronderzoek), en eerder uitgevoerde bodemonderzoeken uitgevoerd door onder meer de adviesbureau's BKH en GeoFox [BKH, 1993 en 1996 en GeoFox, 1994].

Op basis van de gegevensinventarisatie is geconcludeerd dat het dempingmateriaal niet gekarakteriseerd kan worden met één type verontreiniging. In veel dempingen komen meerdere type dempingmaterialen voor. Het op statistische wijze afleiden van een relatie tussen typen verontreinigingen en typen dempingmateriaal is niet mogelijk. Het verificatie-onderzoek richt zich daarom primair op typen van verontreiniging in plaats van op dempingmaterialen. In een later stadium van het onderzoek (na uitvoering van veldonderzoeken) wordt, indien mogelijk, een terugvertaling gemaakt van type verontreiniging naar dempingmateriaal.

3.2.4 *Optredende stoftransportprocessen*

Er kan percolaat vanuit de demping naar de omgeving stromen, maar zolang de verontreinigingen niet mobiel zijn zullen deze zich niet verspreiden. Om voor de typen van verontreinigingen die voorkomen in de dempingen in de Krimpenerwaard te komen tot een vereenvoudigd conceptueel model is voor verschillende typen verontreiniging een beschrijving gegeven van de optredende processen die deze verontreinigingen kunnen ondergaan en hun verschijningsvormen (zie tabel 2).

Tabel 2. Typen van verontreiniging met bijbehorende fasen en optredende processen.

Type van verontreiniging	Fasen	Processen
Zware metalen	• Vaste fase • Waterfase	• Adsorptie • Precipitatie
PAK	• Vaste fase • Waterfase • Puur product	• Adsorptie • Biologische afbraak (anaëroob)
Minerale olie	• Vaste fase • Waterfase • Gasfase • Puur product	• Adsorptie • Biologische afbraak (beide) • Oplossen vanuit NAPL • Vervluchtigen
BTEX	• Vaste fase • Waterfase • Gasfase • Puur product (LNAPL)	• Adsorptie • Biologische afbraak (aëroob) • Oplossen vanuit LNAPL • Vervluchtigen
VOCl	• Vaste fase • Waterfase • Gasfase • Puur product (DNAPL)	• Vervluchtigen • Adsorptie • Biologische afbraak (anaëroob) • Oplossen vanuit DNAPL
Chloorbenzenen (MCB-TCB)	• Vaste fase • Waterfase • Gasfase • Puur product	• Adsorptie • Vervluchtigen • Biologische afbraak (aëroob)

3.3 **Conceptueel model**

Het conceptueel model is een samenhangende beschrijving van de hydrologische en stoftransportprocessen die relevant zijn voor het verkrijgen van inzicht in de (mate van) verspreiding van verontreinigingen vanuit de dempingen naar grond- en oppervlaktewater.

3.3.1 *Hydrologie*

In de figuren 3 en 4 is een schematische weergave gegeven van de (geo)hydrologie rond een demping. Verspreiding kan plaatsvinden via de volgende routes (zie figuur 3):

- Route 1: horizontaal via de demping naar de kopse kanten van de demping;
- Route 2: horizontaal via percelen naar aangrenzende sloten;
- Route 3: verticaal naar het watervoerend pakket.

Afhankelijk van de hydrologische omstandigheden (veel/weinig neerslag) en de onderlinge verhouding van de diverse bodemparameters (bijvoorbeeld verhouding doorlatendheid dempingmateriaal en doorlatendheid omgeving demping) kan zich één van de in figuur 4 aangegeven situaties voordoen.

Uiteindelijk zal het wel of niet aanwezig zijn van een verhang vanuit de demping naar de omgeving toe bepalend zijn of er eventueel verspreiding van verontreinigingen plaats kan vinden. Figuur 5 geeft het conceptuele model op hoofdlijnen weer. De hoofdcriteria voor het al dan niet optreden van de routes 1, 2 en/of 3 zijn hierbij weergegeven, waarbij per route is aangegeven welke parameters van belang zijn om stroomsnelheden te kunnen kwantificeren.

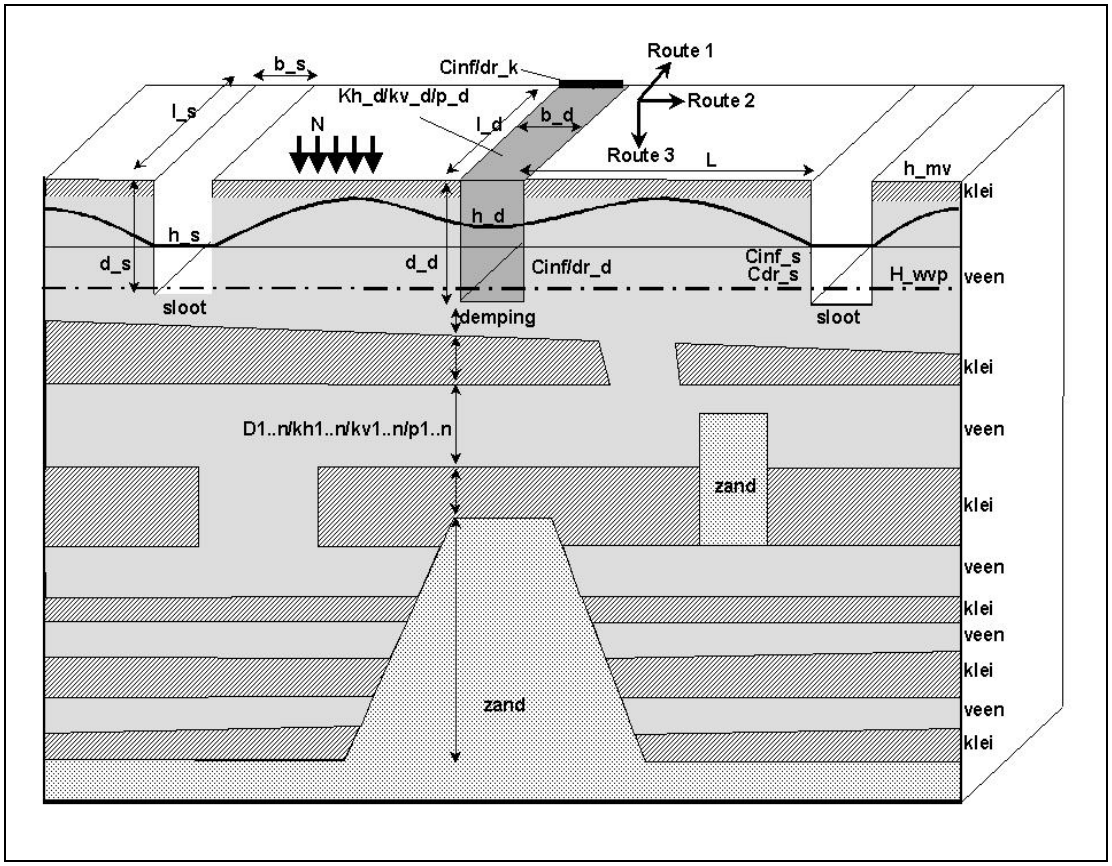


Fig. 3. Overzicht stromingsroutes en geohydrologische parameters (voor toelichting zie bijlage D).

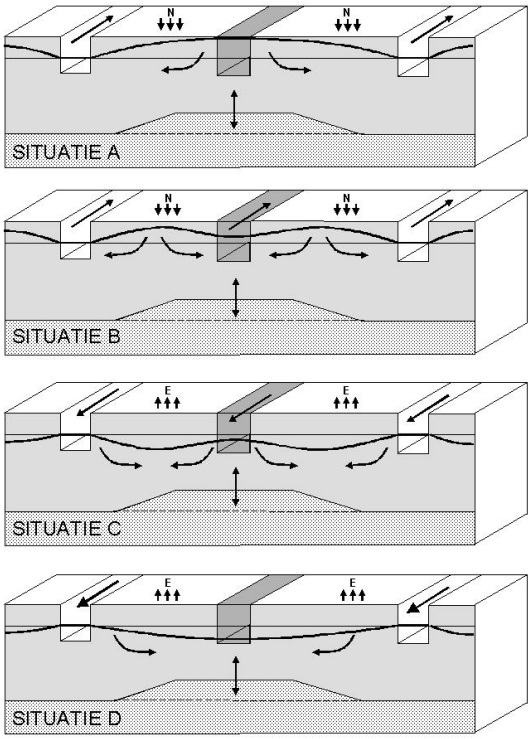


Fig. 4. Stroming situaties.

Aangezien de hydrologie (neerslag en verdamping, fluctuaties stijghoogte watervoerend pakket) in de tijd varieert zal ten gevolge hiervan de stromingssituatie ter plaatse van dempingen door het jaar heen ook variëren. Zo zijn er gebieden aan te wijzen waar gedurende het jaar sprake is van een afwisseling van kwel en infiltratie (route 3). Ook kan in perioden met veel neerslag horizontale verspreiding van verontreinigingen loodrecht op de demping plaatsvinden (route 2), terwijl in droge perioden deze verspreiding niet optreedt. In het modelonderzoek heeft deze temporele variatie een duidelijke plaats gekregen (hoofdstuk 6).

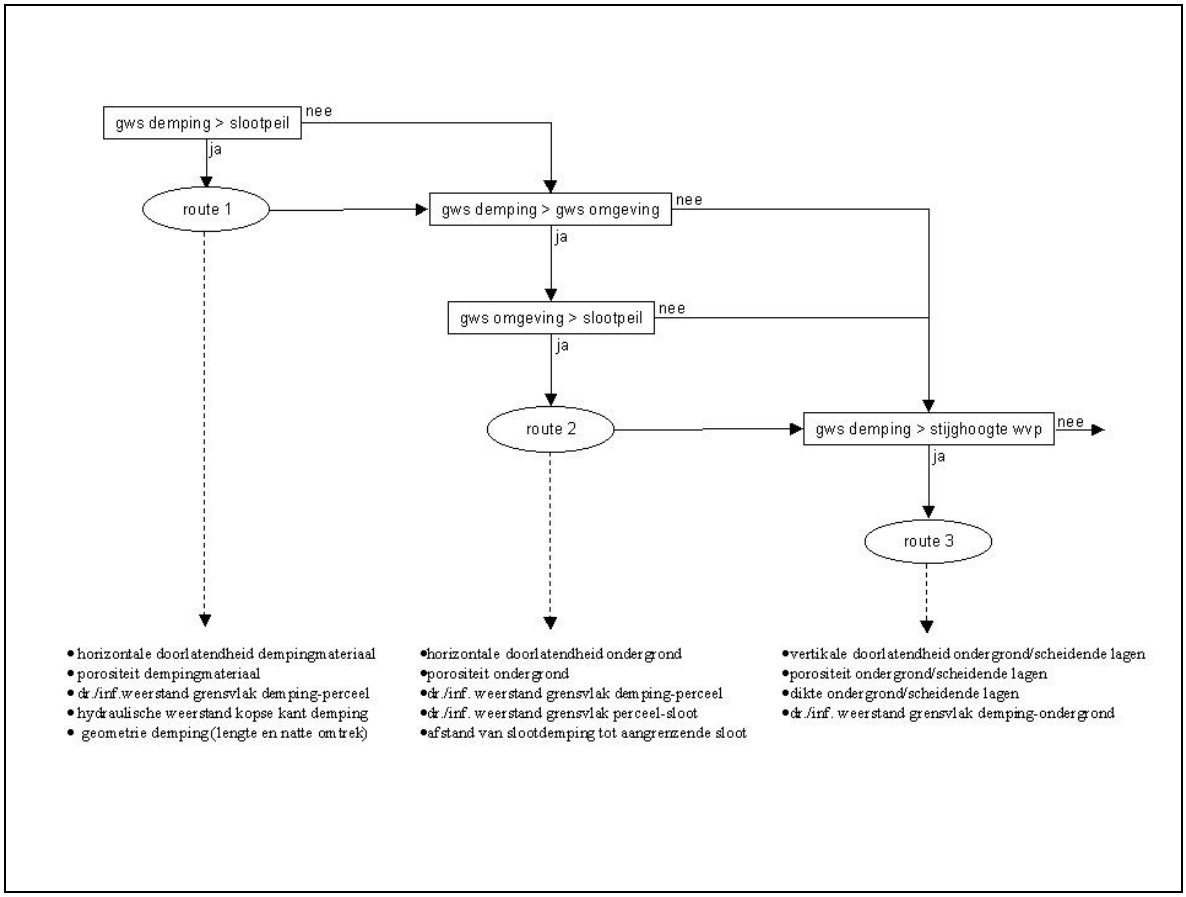


Fig. 5. Overzicht conceptueel model hydrologie.

3.3.2 *Stoftransport*

Of er verspreiding van verontreinigingen vanuit de demping plaatsvindt, is sterk afhankelijk van het feit of de demping verontreiniging(en) bevat, of de verontreiniging zich in de waterfase bevindt en of de verontreiniging processen ondergaat die de mobiliteit versterken of juist afzwakken. Mogelijke processen zijn: adsorptie, precipitatie, biologische afbraak en vervluchtiging. Deze processen kunnen afzonderlijk dan wel tegelijkertijd plaatsvinden. Deze stappen zijn verwerkt in figuur 6.

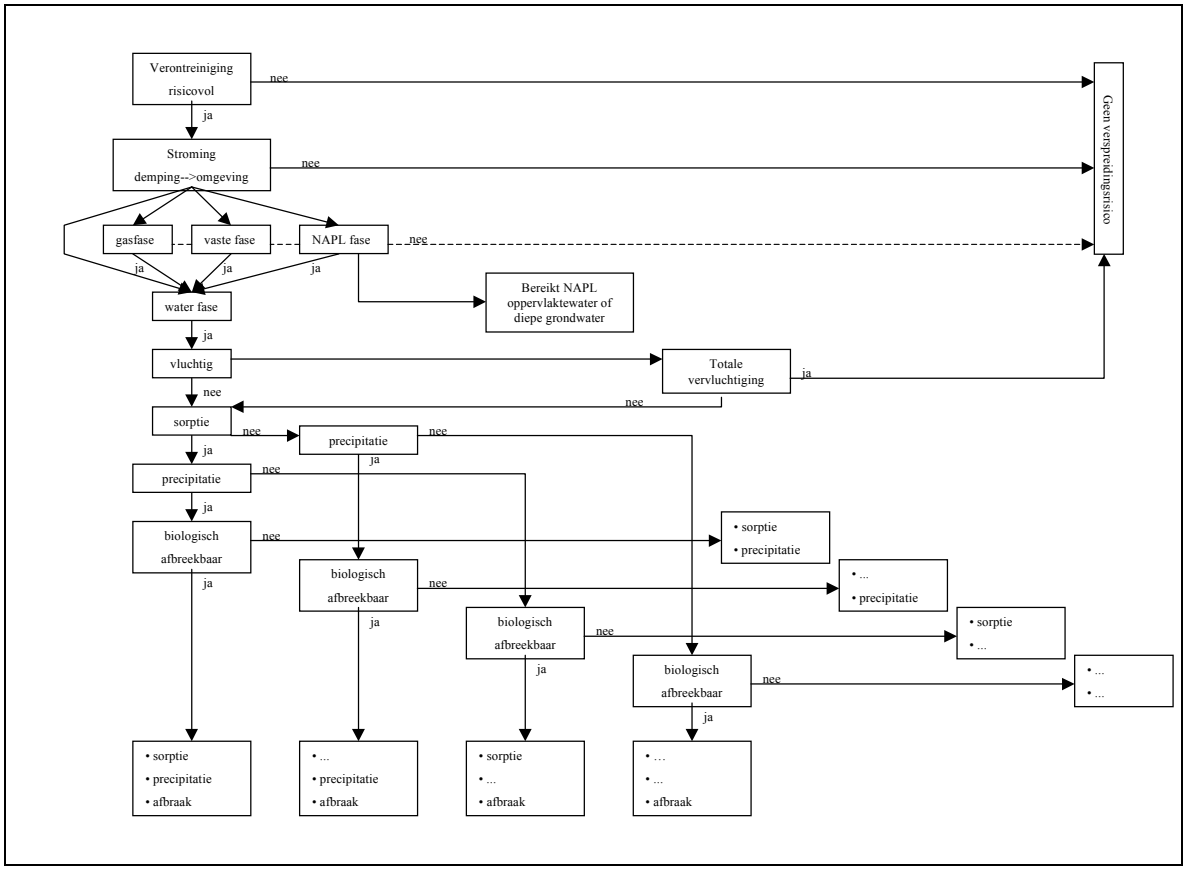


Fig. 6. Overzicht conceptueel model stoftransport.

Om te komen tot een vereenvoudigd conceptueel stoftransportmodel voor de Krimpenerwaard zijn de typen van verontreinigingen, die voorkomen in de dempingen, gegroepeerd naar optredende processen. De groepen die in het onderzoek zijn meegenomen betreffen:

1. Niet reactieve stoffen. Deze stoffen ondergaan geen reactie met bodemdeeltjes of andere in de bodem aanwezige stoffen. Ze worden meegevoerd met het grondwater en zijn erg mobiel. Voorbeelden hiervan zijn chloride, bromide en nitraat.
2. Niet-lineair adsorberende stoffen. Onderzoek heeft aangetoond dat zware metalen niet-lineaire adsorptie ondergaan [Boekhold, 1992; Temminghoff, 1998].
3. Lineair adsorberende stoffen. Deze stoffen adsorberen lineair aan in de bodem aanwezige stoffen (organische stof). Door de adsorptie wordt de doorspoeling vertraagd en zijn ze minder mobiel dan een niet-reactieve stof. Type van verontreinigingen die in deze groep vallen zijn BTEX, PAK (o.a. naftaleen), chloorbenzenen en de lichte fracties van minerale olie. Merk op dat BTEX, naftaleen, chloorbenzenen en minerale olie aëroob afbreekbaar zijn. Aangezien de dempingen in de Krimpenerwaard voor het grootste gedeelte in de verzadigde zone voorkomen wordt verondersteld dat er anaërobe condities heersen en dat de bovengenoemde stoffen niet worden afgebroken en dus alleen lineaire adsorptie ondergaan.
4. Lineaire adsorberende en biologische afbreekbare stoffen. De zware fractie van minerale olie, BTEX (Tolueen, Ethylbenzeen en Xylenen) en VOCl zijn afbreekbaar onder anaërobe condities. Aangezien verondersteld wordt dat er anaërobe condities heersen in de Krimpenerwaard zal voor deze stoffen buiten lineaire adsorptie ook biologische afbraak meegenomen moeten worden.

Per groep is een referentieverontreiniging gekozen die als uitgangspunt wordt genomen voor het uitvoeren van stoftransportberekeningen (zie tabel 3).

De selectie van deze referentieverontreinigingen heeft plaatsgevonden aan de hand van de criteria:
- mobiliteit (meest mobiele stof);
- aanwezigheid (trefkans in demping groot);
- beschikbare gegevens (parameterwaarden bekend in literatuur).

Tabel 3. Referentie verontreinigingen.

Combinatie	Referentie verontreiniging
Niet reactieve stoffen	Chloride
Niet lineair adsorberende stoffen	Lood en zink
Lineair adsorberende stoffen	Benzeen
Lineair adsorberende en afbreekbare stoffen	Xylenen

3.4 **Grondwaterstromings- en stoftransportmodellering**

Het conceptueel model vormt de basis voor de (numerieke) grondwaterstromings- en stoftransportmodellen. In deze paragraaf wordt in het kort een beschrijving gegeven van de wijze waarop het conceptueel model verder is uitgewerkt en omgevormd tot een grondwaterstromings- en stoftransportmodel. De nadruk ligt hierbij op de beschrijving van de modelopbouw en de uitgevoerde berekeningen. De uiteindelijke resultaten van de modelberekeningen worden, in samenhang met de resultaten van de veldonderzoeken, besproken in de hoofdstukken 5 en 6.

3.4.1 *Hydrologisch model*

De modelvorming heeft op twee manieren plaatsgevonden. Aan de hand van een numeriek 2D-model (TRIWACO, eindige elementenmethode) is de stroming naar het watervoerend pakket gemodelleerd. De nadruk bij deze modellering lag op het onderzoek naar de invloed van verschillen in bodemopbouw op de vertikale grondwaterstroming naar het watervoerend pakket. Vervolgens is dit model uitgebreid tot een 3D-model, waarmee de specifieke stroming rond en in de demping in beeld is gebracht. De nadruk hierbij lag op de invloed van de demping op de horizontale grondwaterstroming naar het oppervlaktewater (via kopse kant en via aangrenzende percelen).

Opbouw 2D-model

Een schematische weergave van de opbouw van het 2D-model is weergegeven in figuur 7.

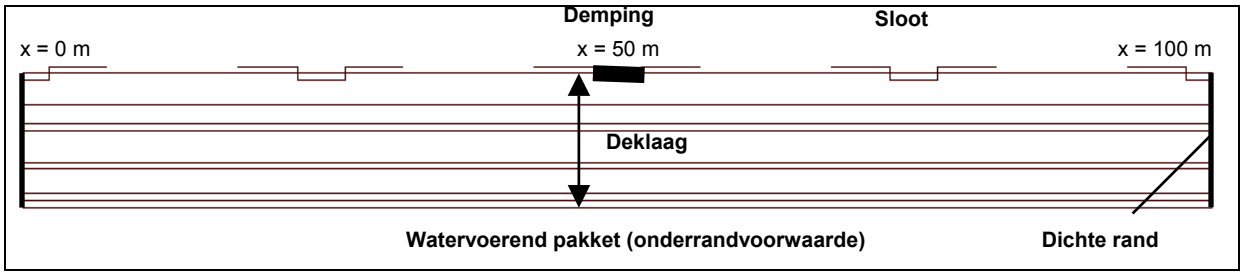


Fig. 7. Schematische weergave opbouw 2D model (dwarsdoorsnede).

Het model bestaat uit één 'watervoerende' laag (de deklaag), waarin per 0,5 meter laagdikte verschillen in horizontale en vertikale doorlatendheden en effectieve porositeiten (klei-, veen en zandlagen) tot uitdrukking kunnen worden gebracht. Hierdoor is het mogelijk elke willekeurige bodemopbouw in te brengen en het effect van verschillen in bodemopbouw in beeld te brengen. Er is uitgegaan van een hydrologisch systeem met één demping en aan weerszijden twee sloten op onderlinge afstand van 25 meter. Het stijghoogteverschil over de deklaag kan tevens worden gevarieerd door het vastleggen van een stijghoogte als onderrandvoorwaarde en een polderpeil

(als onderdeel van het zogenaamde topsysteem) als bovenrandvoorwaarde. Voor de overige uitgangspunten die ten grondslag liggen aan het model wordt verwezen naar bijlage D.

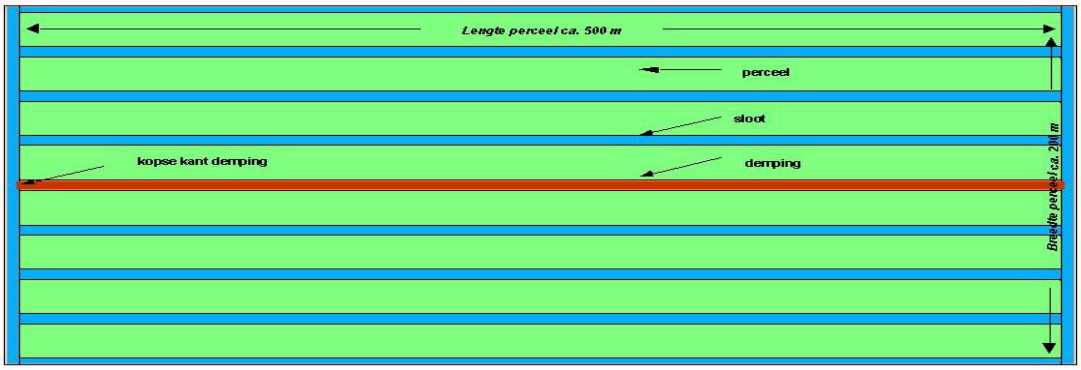


Fig. 8. Schematische weergave opbouw 3D model (bovenaanzicht).

Opbouw 3D-model
Een schematische weergave van de opbouw van het 3D-model is weergegeven in figuur 8. Ook in dit geval kunnen de afzonderlijke bodemlagen, die onderdeel uitmaken van de deklaag, worden ingevoerd. Dit model is opgebouwd uit meerdere 'watervoerende' lagen gescheiden door 'slecht doorlatende' lagen. Op grond van relatieve verschillen in doorlatendheid ([Bierkens, 1994], zie bijlage A) kunnen de aanwezige veenlagen worden gezien als 'watervoerende' en de kleilagen als 'slecht' doorlatende lagen. Er is uitgegaan van een hydrologisch systeem met één demping met aan weerszijden vier sloten op onderlinge afstand van circa 25 meter. De standaard lengte van het perceel bedraagt circa 500 meter. Voor de overige uitgangspunten die ten grondslag liggen aan het 3D-model wordt verwezen naar bijlage D.

Uitgevoerde berekeningen 2D-model (grondwaterstroming naar watervoerend pakket)
Voor een infiltratiesituatie (stijghoogteverschil over de deklaag 1 meter) zijn berekeningen uitgevoerd, waarbij de bodemopbouw als volgt is gevarieerd (zie ook figuur 9):
a) rivierduin;
b) geulopvulling;
c) kleiig profiel zonder rivierduin of geulopvulling (Rg2klei);
d) venig profiel zonder rivierduin of geulopvulling (Rg2veen).

De profielen a)/b) zijn met c)/d) gecombineerd om te bepalen in hoeverre een rivierduin/geulopvulling in de nabijheid van een demping nog effect heeft op de vertikale en/of horizontale grondwaterstroming (en eventuele verspreiding van verontreinigingen). Vanaf de onderzijde van de demping is een aantal stroombanen gestart. Langs deze stroombaan is de verblijftijd van het grondwater naar het watervoerend pakket berekend. De volgende combinaties zijn bekeken (zie ook figuur 10):

- Combinatie Rg2klei met rivierduin (afstand rivierduin tot demping resp. 12,5 / 25,0 / 37,5 meter);
- Combinatie Rg2klei met geulopvulling (afstand geul tot demping resp. 12,5 / 25,0 / 37,5 meter);
- Combinatie Rg2veen met rivierduin (afstand rivierduin tot demping resp. 12,5 / 25,0 / 37,5 meter);
- Combinatie Rg2veen met geulopvulling (afstand geul tot demping resp. 12,5 / 25,0 / 37,5 meter).

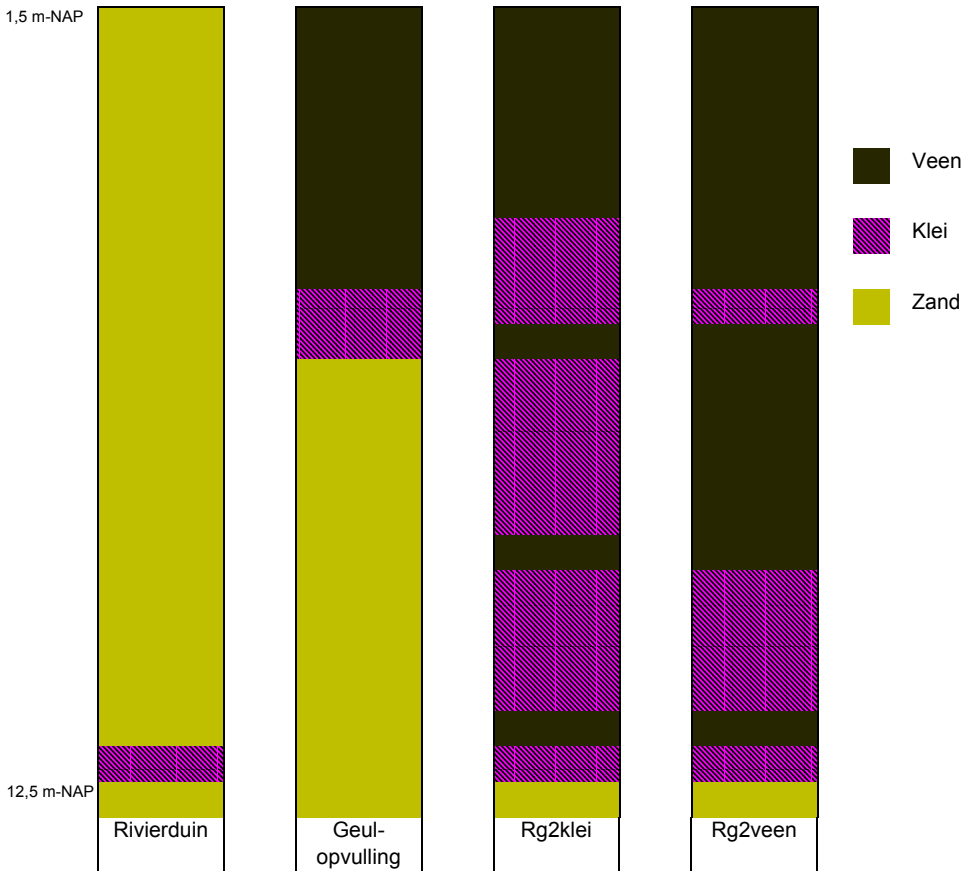


Fig. 9. Bodemprofielen 2D-modellering.

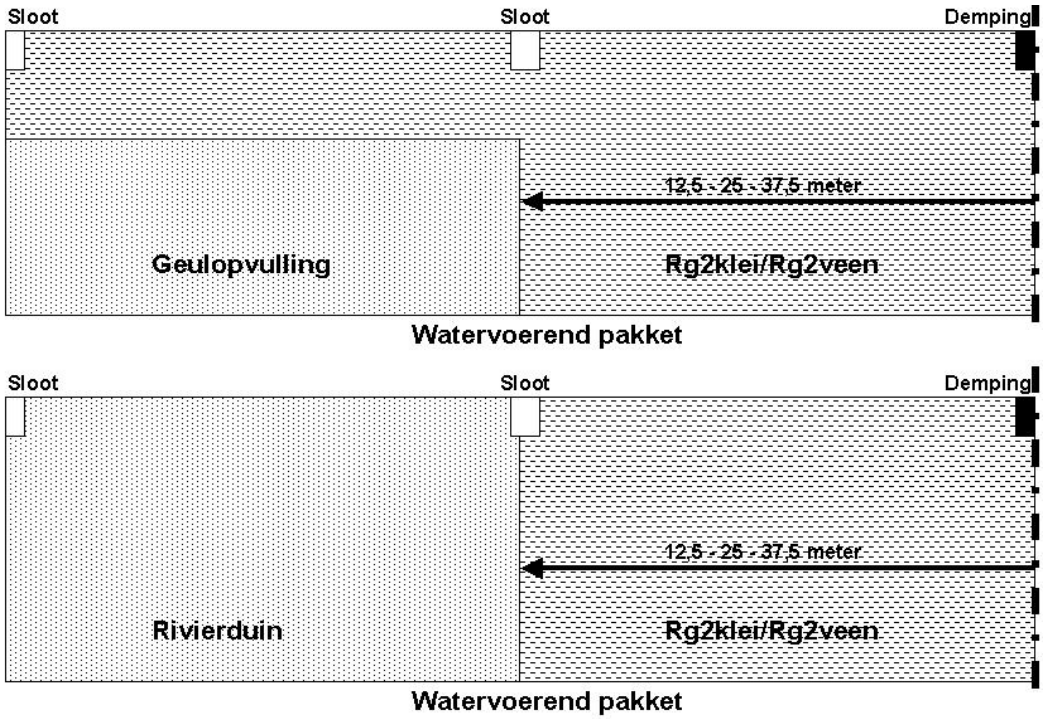


Fig. 10. Gecombineerde bodemprofielen 2D-modellering.

Uitgevoerde berekeningen 3D-model (grondwaterstroming naar oppervlaktewater)
Uitgangspunt voor deze berekeningen was in eerste instantie het profiel behorend bij Rg2veen met een kwelsituatie (stijghoogteverschil over de deklaag 1 meter). De volgende berekeningen zijn uitgevoerd:

a) variatie doorlatendheid dempingmateriaal met resp. 0,001, 10 en 100 meter/dag;
b) idem als a) maar nu met een ondoorlatende kopse kant (k = 0,0001 meter/dag);
c) idem als a) maar nu met:
    1) perceelbreedte 50 in plaats van 25 meter;
    2) perceellengte 250 in plaats van 500 meter.

In bijlage D worden de berekeningsresultaten besproken.

Conclusies hydrologische modellering
Uit de hydrologische modellering met het 2D- en 3D-model zijn de volgende conclusies te trekken:

- De verblijftijd van het grondwater in een rivierduin is beperkt (circa 2,5 jaar). In verband hiermee is de weerstand van de aanwezige Kreftenheye leemlaag relevant.
- Het transport van grondwater door een ongestoord klei-/veenprofiel (12 tot 15 jaar) gaat aanzienlijk langzamer dan via een rivierduin.
- De nabijheid van een rivierduin of geulopvulling beïnvloedt de stroming vanuit de demping. Afhankelijk van de aanwezigheid van klei- of veenlagen vindt meer of minder horizontale beinvloeding plaats. De beïnvloeding is beperkt tot een zone van circa 25 meter rond de demping.
- Door de beïnvloeding van nabijgelegen rivierduinen of geulopvullingen wordt de totale verblijftijd van het grondwater naar het watervoerend pakket korter. Echter, doordat het grondwater een relatief grotere afstand aflegt door veenlagen betekent dit nog niet dat hiermee ook de verontreinigingen sneller het watervoerend pakket bereiken (zie onder stoftransport).
- Hoe hoger de doorlatendheid van het dempingmateriaal, hoe hoger de bijdrage is van de demping aan de afvoer van grondwater naar oppervlaktewater.
- Tot op een bepaalde afstand van de kopse kant vindt afstroming via de demping naar het oppervlaktewater plaats. Op grotere afstand van de kopse kant vindt alleen stroming loodrecht op de demping plaats. Deze afstand is afhankelijk van de doorlatendheid. Uitgaande van een doorlatendheid van 1 tot enkele meters/dag bedraagt deze afstand 25 tot 50 meter.
- Het afdichten van de kopse kant van de demping heeft als effect dat vrijwel al het grondwater uit de demping afstroomt via de aangrenzende percelen naar oppervlaktewater. Een klein deel van het grondwater zal direct om de afdichting heen stromen via het aangrenzende veenpakket.
- Bij dubbele perceelbreedten (44 in plaats van 22 meter) blijkt het grondwater in en rond de demping aan maaiveld te komen. In dat geval wordt de neerslag niet meer volledig via het grondwater afgevoerd, maar vindt ook oppervlakte-afvoer plaats. Deze situatie met grotere perceelbreedten is echter niet representatief voor de gemiddelde situatie in de Krimpenerwaard.

3.4.2 *Stoftransportmodel*
Met behulp van het hydrologisch model is inzicht verkregen in de tijd die waterdeeltjes nodig hebben om het watervoerend pakket, danwel het oppervlaktewater te bereiken. Wanneer verontreinigingen met het water meegevoerd worden vindt het stoftransport plaats waarbij sprake is van specifiek gedrag van verontreinigingen in elke bodemlaag (zand, klei, veen). Elke bodemlaag die de verontreiniging doorkruist, heeft specifieke fysische en chemische bodemeigenschappen. Deze bodemeigenschappen beïnvloeden de mobiliteit van de verontreinigingen. Bovendien hebben de verontreinigingen stofspecifieke eigenschappen die de mobiliteit beïnvloeden. De in het model gebruikte parameterwaarde voor de verschillende bodemlagen en de stof-

specifieke parameters voor de referentie verontreinigingen zijn verzameld uit de literatuur en weergegeven in bijlage E.

In het model is verondersteld dat de referentieverontreinigingen (zie paragraaf 3.2.2) in het percolaat aanwezig zijn en dat hun concentratie niet in de tijd veranderd (continue bron). De concentraties die als uitgangspunt dienen, zijn gebaseerd op gegevens uit eerder uitgevoerde bodemonderzoeken.

In het ontwikkelde model is transversale dispersie buiten beschouwing gelaten. Transversale dispersie zorgt voor een spreiding van de stof waardoor de concentratie zich zal verdelen over een groter gebied, er vindt verdunning plaats. Het niet meenemen van transversale dispersie resulteert dus in hogere concentraties in de oplossing en kan gezien worden als een limietgeval.

Uitgevoerde berekeningen
Doel van de berekeningen is inzicht te verkrijgen in de tijd die verontreinigingen nodig hebben om het watervoerend pakket dan wel het oppervlaktewater te bereiken (doorslagmoment). Het doorslagmoment is bepaald met behulp van analytische oplossingen en numerieke berekeningen (met behulp van SORWACO [van den Brink en Zaadnoordijk, 1997]) voor de verschillende stoftransportvergelijkingen.

Voor een selectie van de stroombanen die volgen uit de hydrologische modellering zijn stoftransportberekeningen uitgevoerd. Wat betreft het stoftransport richting watervoerend pakket zijn de stroombanen geselecteerd, zoals genoemd in bijlage D. Hierbij is vooral gekeken naar verschillen die optreden in situaties tussen ongestoord (klei)profiel, rivierduin/geulafzetting en combinaties hiervan. Wat betreft het stoftransport richting oppervlaktewater is vooral gekeken naar verschillen in stoftransport die ontstaan door het al dan niet afdichten van de kopse kant van de demping (zie figuur 11).

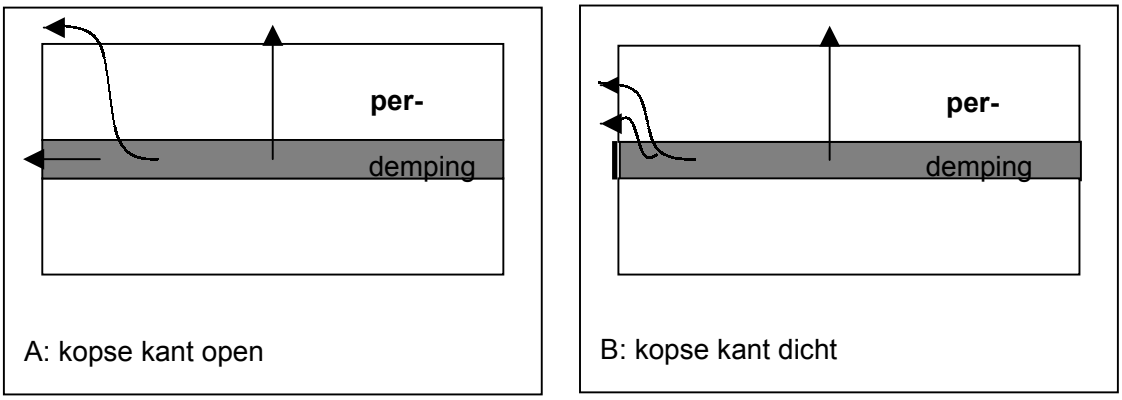


Fig. 11. Stroombanen gebruikt in het stoftransport naar oppervlaktewater.

Conclusies stoftransportmodellering
Genoemde berekeningen zijn in een later stadium van het onderzoek nog aangepast op grond van gewijzigde inzichten en gegevens voortkomend uit het veldonderzoek (activiteit 3 en 4). Om die reden worden de specifieke resultaten van de uitgevoerde berekeningen hier niet genoemd, maar besproken als onderdeel van de hoofdstukken 5 en 6.

Wel is een aantal algemene conclusies te trekken:

- Door het afdichten van de kopse kanten neemt de totale verblijftijd van verontreinigingen aanzienlijk toe, doordat de verontreinigingen in plaats van via de demping via het aangrenzend perceel de sloot aan de kopse kant bereiken. In het aangrenzend perceel (veen) vindt meer adsorptie plaats. Als voorbeeld: een waterdeeltje (chloride) in de demping op een afstand van circa 25 meter van de kopse kant stroomt in circa 0,5 jaar tijd (k_{demp} = 10 m/dag) richting de kopse kant. Door de afdichting aan de kopse kant komt het waterdeeltje via het aangrenzende perceel in circa 5 jaar tijd in het oppervlaktewater terecht (verhouding verblijftijden ongeveer 1:10). Voor benzeen liggen deze verblijftijden op respectievelijk 3 en 630 jaar, een verhouding van 1: 210).
- Het stoftransport naar oppervlaktewater wordt sterk beïnvloed door de weg (te passeren bodemtype) die de stroombaan moet gaan om het oppervlaktewater te bereiken. Bij stroming richting aangrenzende sloot is sprake van zeer hoge doorslagmomenten door adsorptie van verontreinigingen aan veen en de relatief lage stroomsnelheden in het perceel. Als voorbeeld: uitgaande van een perceel met een breedte van 25 meter doet chloride (water) er 9 jaar over om in de aangrenzende sloot te komen (gemiddeld doorslagmoment), terwijl benzeen er ruim 1.000 jaar over doet. Voor zware metalen gelden verblijftijden tot duizenden jaren.
- Het stoftransport naar het watervoerend pakket wordt sterk beïnvloed door het bodemprofiel. Als de stroombaan langere tijd door veen loopt dan neemt het doorslagmoment sterk toe door adsorptie van verontreinigingen aan veen. Wanneer het transport via een rivierduin (Kre) wordt vergeleken met het transport via een naast de demping gelegen rivierduin (Rg2klei-125) dan blijkt dat de verblijftijd van chloride met bijna een factor 2 toeneemt (van circa 2,5 jaar naar 4 jaar), terwijl dit voor benzeen met een factor 12 toeneemt (van circa 23 jaar naar 270 jaar). Voor zware metalen is, in alle doorgerekende situaties (dus ook een rivierduin), het gemiddelde doorslagmoment naar het watervoerend pakket nog veel hoger dan benzeen.

3.5 **Gebruik resultaten bij vervolgonderzoek**

Dit deel van het onderzoek heeft inzicht opgeleverd in de aard en samenstelling van het dempingmateriaal, de te hanteren referentieverontreinigingen, de eigenschappen van deze stoffen, een indeling van de bodemopbouw en geohydrologie van het gebied en de fysische eigenschappen van de verschillende bodemlagen. De interacties tussen demping, oppervlaktewater en watervoerend pakket zijn in beeld gebracht. De mate van verspreiding, die optreedt bij verschillende bodemtypen/combinaties van bodemtypen, is gekwantificeerd. Verder is het effect van het afdichten van de kopse kant op de verspreiding van verontreinigingen onderzocht.

De belangrijkste resultaten/inzichten van belang voor het vervolgonderzoek zijn:

- Het duidelijke verschil in gedrag van zware metalen en organische verbindingen. Zware metalen retarderen zeer sterk door adsorptie aan organisch materiaal. Aangezien in zeer veel situaties een aantal meters veen wordt doorstroomd verspreiden deze stoffen zich nauwelijks. Ook organische verbindingen zullen bij verplaatsing door een veenlaag sterk adsorberen.
- De bodemopbouw en de hydrologie zijn belangrijke parameters voor het bepalen van de mate van verspreiding van (grondwater en) verontreinigingen. De vier onderscheiden profieltypen en de stijghoogteverschillen over de deklaag geven inzicht in de mate van transport in verticale richting (route 3). Voor route 2 (stroming richting oppervlaktewater via aangrenzend perceel) is de bodemopbouw veel minder onderscheidend dan voor route 3. De hydrologie (het verhang) is hier maatgevender. Echter, aangezien het verhang in horizontale richting beperkt is verloopt de verspreiding in horizontale richting minder snel dan in verticale richting.
- De doorgerekende combinaties van bodemtypen (bijvoorbeeld een demping op een ongestoord profiel, maar in de buurt van een rivierduin of geulopvulling) geven inzicht in de mate

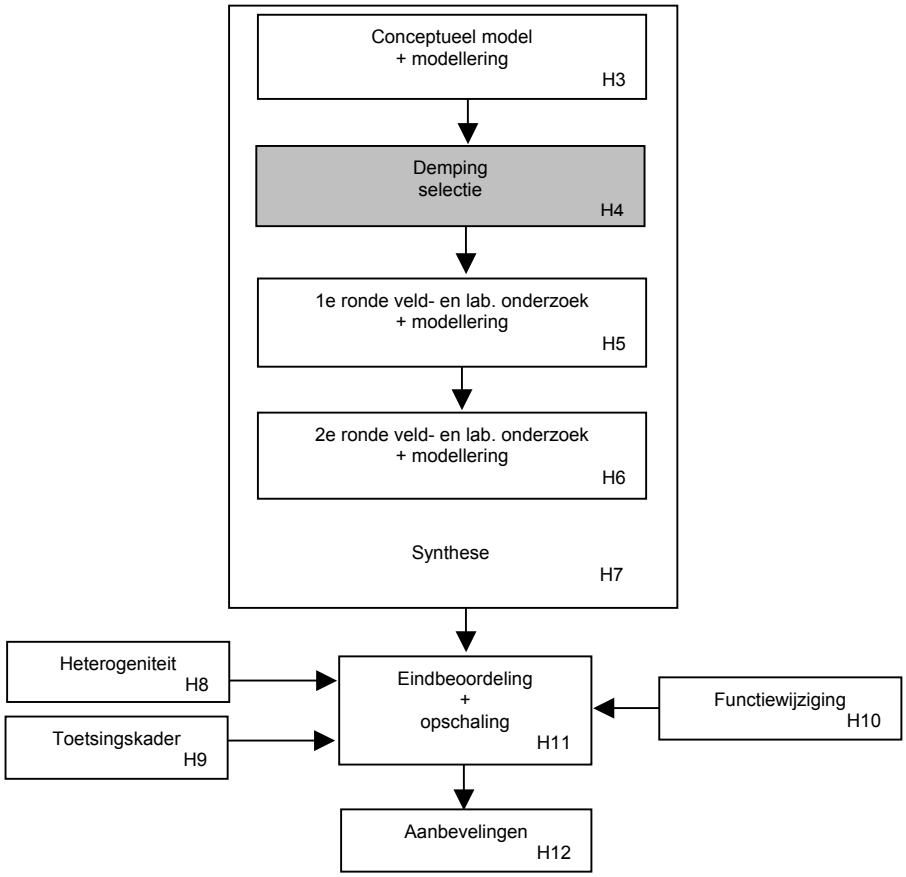
waarin de verticale stroming vanuit de demping wordt beïnvloed. Uit de berekeningen blijkt dat rivierduinen/geulen in de nabijheid van een demping de stroming sterk beïnvloeden binnen een afstand van circa 25 meter vanuit de demping. Dit resulteert in een kortere verblijftijd van het grondwater. Echter, doordat het grondwater een langere weg door het veen aflegt is er netto sprake van meer retardatie en daarmee van langere verblijftijden van de verontreinigingen.

- Uit de berekeningen betreffende route 1 (afstroming via kopse kant) blijkt dat het afdichten van de kopse kant een effectieve maatregel is. Door het afdichten van de kopse kant stroomt het water via de naastgelegen percelen naar het aangrenzende oppervlaktewater. De verontreinigingen retarderen sterk door adsorptie aan organisch materiaal. (Directe) uitstroom van verontreinigingen vanuit de demping wordt hiermee voorkomen.

HOOFDSTUK 4

SELECTIE DEMPINGEN

4.1 Algemeen



Tijdens de eerste ronde veld- en laboratoriumonderzoek wordt een aantal dempingen onderzocht. Deze eerste ronde richt zich op de aard en samenstelling van het dempingmateriaal en de (bio-) chemische processen die een rol spelen in de demping. Bij de keuze van dempingen die onderzocht worden, wordt zoveel mogelijk rekening gehouden met verschillen in dempingmateriaal, bodemopbouw en geohydrologie.

In paragraaf 4.2 wordt ingegaan op de beschikbare gegevens betreffende de micro- en macrochemische samenstelling van het dempingmateriaal. Doel hiervan is te komen tot een voorstel voor de te analyseren parameters (4.3).

Vervolgens wordt in paragraaf 4.4 een beschrijving gegeven van de te onderscheiden dempingcategorieën op basis van geologie en hydrologie. Tenslotte is in paragraaf 4.5 een overzicht gegeven van de dempingen die uiteindelijk zijn geselecteerd voor de eerste ronde veld- en laboratoriumonderzoek.

4.2 Samenstelling dempingmateriaal

Bij de bepaling van de micro- en macrochemische samenstelling van het dempingmateriaal is gebruik gemaakt van de volgende bronnen:

- diverse (BKH-)onderzoeken {BKH, 1993, 1996] voor onder meer de clusters Vlist en Berkenwoude;
- database BOOM/BIKI;
- het rapport 'Watertypen door middel van clusteranalyse' [IWACO, 2000][1];
- informatie van de provincie Zuid-Holland betreffende voorkomen van de stof benzeen[2].

Microchemische samenstelling dempingmateriaal

Van circa 30 dempingen zijn de eerder uitgevoerde bodemonderzoeksgegevens geïnventariseerd (grond en grondwater in demping en grondwater in omgeving van demping). De gegevens betreffende grond en grondwater in de dempingen zijn samengevat in de figuren 12 en 13. Gekeken is in hoeverre in grond en grondwater van de dempingen overschrijdingen van de streef- (S-) dan wel interventie- (I-)waarde voorkomen. Aangezien niet alle parameters even vaak geanalyseerd zijn, zijn de waarnemingen als percentages weergegeven. Het aantal waarnemingen per parameter ligt tussen de 10 en 30.

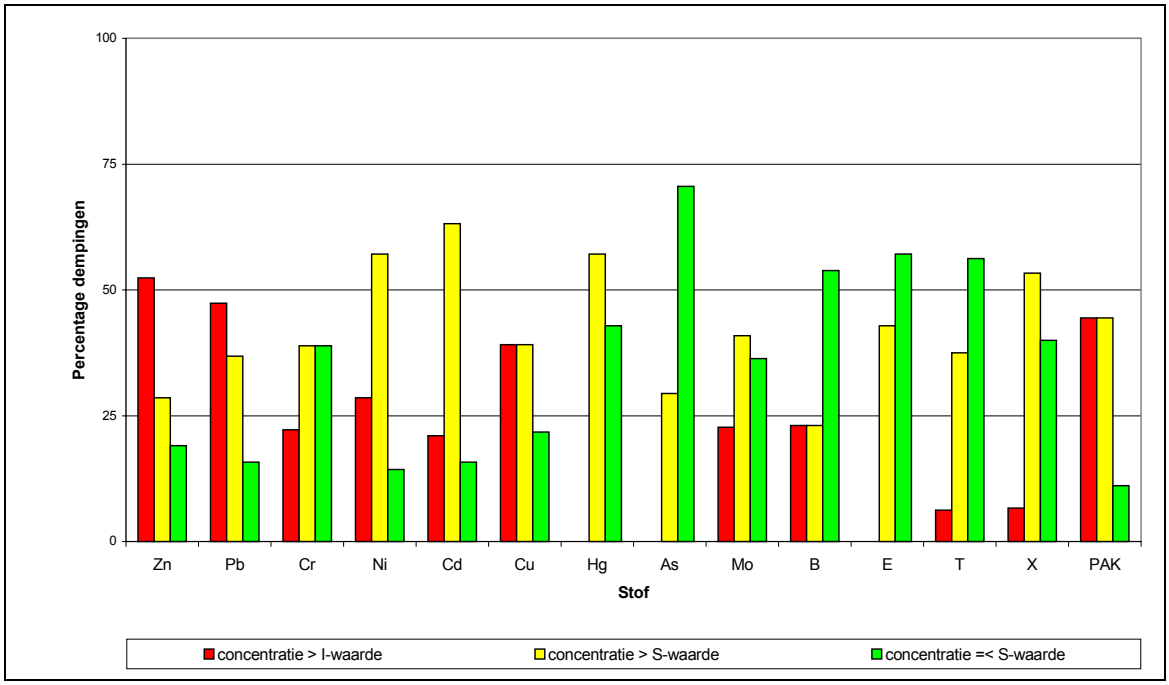


Fig. 12. Overschrijdingen S-/I-waarden grond in demping, historische gegevens.

[1] Bij onderzoek 'Watertypen door middel van clusteranalyse' is van 80 NAVOS locaties (storts en dempingen) verdeeld over de provincies Noord- en Zuid-Holland, Flevoland, Utrecht, Zeeland, Noord-Brabant, Friesland en Overijssel een dataset samengesteld bestaande uit in totaal 546 meetpunten met maximaal 179 stoffen of parameters. De geanalyseerde parameters betreffen voornamelijk organische microverontreinigingen, hun afbraakproducten, zware metalen, macrochemische parameters en redoxparameters. Naast watermonsters zijn ook grondmonsters genomen (346). De gegevens zijn geïnterpreteerd waarbij gekeken is naar het voorkomen van de stoffen in, bovenstrooms, onder en benedenstrooms van de stort.

[2] Betreft gegevens van locaties waar het grondwater van het eerste watervoerend pakket is geanalyseerd op benzeen. Deze locaties zijn onderverdeeld in stortplaatsen/slootdempingen en overige locaties.

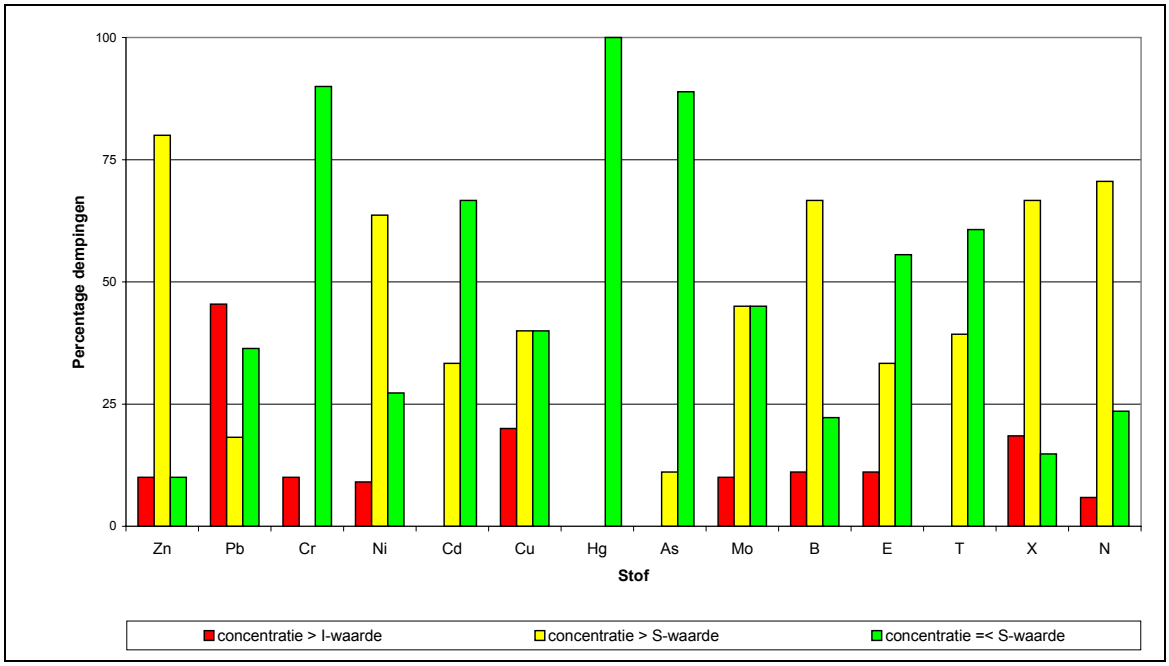


Fig. 13. Overschrijdingen S-/I-waarden grondwater in demping, historische gegevens.

In de grond worden met name de volgende stoffen boven I-waarde aangetroffen:
- zware metalen (vooral koper, lood en zink). Deze worden vooral aangetroffen in dempingen met bouw- en sloopafval en huishoudelijk afval. Daarnaast ook chroom, nikkel en cadmium;
- PAK en minerale olie. PAK wordt vooral aangetroffen in dempingen met bouw- en sloopafval, huishoudelijk afval en shredder en minerale olie in dempingen met bouw- en sloopafval en huishoudelijk afval;
- BTEX, met name benzeen;
- EOX (niet in grafiek) wordt regelmatig aangetroffen in concentraties verhoogd ten opzichte van de S-waarde.

In het grondwater in het dempingmateriaal komen met name de volgende stoffen boven I-waarde voor:
- zware metalen (vooral lood en koper, maar ook zink, chroom en nikkel);
- BTEX (voornamelijk benzeen, ethylbenzeen en xylenen);
- minerale olie;
- naftaleen;
- cyanide, mono- en dichloorbeenzeen (niet in grafiek) komen regelmatig voor in concentraties > S-waarde. Daarnaast wordt regelmatig EOX aangetroffen in gehalten boven de detectiegrens.

Naast de vraag welke stoffen in het dempingmateriaal aanwezig zijn is relevant om te weten welke stoffen in de omgeving van dempingen zijn aangetroffen. Dat zijn met name de stoffen waar vanuit het oogpunt van verspreiding uiteindelijk de aandacht op wordt gericht. In de eerder uitgevoerde bodemonderzoeken wordt geconcludeerd dat de verontreinigingen zich in horizontale richting via het freatische grondwater vrijwel niet verspreiden. In het watervoerend pakket worden incidenteel zware metalen, minerale olie, cyanide, xylenen en naftaleen aangetroffen (verhoogd ten opzichte van S-waarde, incidenteel I-waarde). Verder wordt regelmatig fenol aangetroffen in concentraties verhoogd ten opzichte van de S-waarde.

Uit het onderzoek ‘Watertypen door middel van clusteranalyse’ volgt dat van de geanalyseerde parameters vooral een aantal organische microverontreinigingsparameters veelvuldig boven de detectiegrens worden aangetroffen, te weten:

- Benzeen
- Ethylbenzeen
- Tolueen
- Xylenen
- 1,2,4 trimethylbenzeen
- 1,3,5 trimethylbenzeen
- n butylbenzeen
- som aromaten
- 3.4 dimethylfenol
- Fenolindex
- minerale olie
- som chloorbenzenen
- isopropylbenzeen

Daarnaast worden de zware metalen arseen, chroom, koper, nikkel en zink regelmatig boven de detectielimiet aangetroffen.

Uit de informatie van de provincie Zuid-Holland blijkt dat bij de gevallen stortplaatsen/slootdempingen (49 locaties) in alle gevallen benzeen wordt aangetroffen in het grondwater in de stortplaatsen/dempingen. In 11 gevallen wordt er ook benzeen aangetroffen in het freatisch grondwater in de omgeving van de stortplaatsen/dempingen en bij 1 locatie wordt er benzeen aangetroffen in het watervoerend pakket.

Macrochemische samenstelling dempingmateriaal
In de eerder uitgevoerde bodemonderzoeken wordt geen aandacht besteed aan de macrochemie. Het onderzoek ‘Watertypen door middel van clusteranalyse’ biedt aanknopingspunten voor de inrichting van het veld- en laboratoriumonderzoek wat betreft dit onderdeel. In deze studie is op basis van een clusteranalyse van de beschikbare macrochemische analyses een indeling voor verschillende watertypen gepresenteerd, waarbij elk type grondwater wordt gekarakteriseerd aan de hand van een bepaalde macrochemische samenstelling. Deze gegevens zijn gebruikt bij het samenstellen van de set analyses voor het veldonderzoek. Verder is vanuit het hydrologische onderzoek Krimpenerwaard [Boland, 1994] nog een behoorlijk aantal meetgegevens beschikbaar betreffende de macrochemie. Het betreft analyseresultaten van een aantal macrochemische parameters die gebruikt kunnen worden als referentiewaarnemingen (komt aan de orde in de hoofdstukken 5 en 6).

4.3 **Voorstel analysepakket**

Op basis van de verzamelde gegevens is uiteindelijk besloten om de volgende analyses uit te voeren (zie verder paragraaf 5.2):
- Grond: cadmium, chroom, koper, lood, nikkel, zink, arseen, kwik, organisch stof- en lutumgehalte.
- Percolaat/grondwater in de demping:
  - Microchemie: arseen, cadmium, chroom, koper, kwik, lood, nikkel, zink, minerale olie (C10-C40), chloorbenzenen (mono- en di-), benzeen, tolueen, ethylbenzeen, xyleen, naftaleen, VOH en EOX;
  - Macrochemie beperkt: pH, Ec, temperatuur, ammonium, nitraat, sulfaat en ijzer;
  - Macrochemie uitgebreid: pH, Ec, temperatuur, TOC, DOC, chloride, nitraat, nitriet, ammonium, sulfaat, bicarbonaat, calcium, kalium, natrium, magnesium, ijzer, mangaan.

4.4 **Dempingcategorieën**

Naast de chemische samenstelling van het dempingmateriaal is het van belang te kijken naar de verschillen tussen dempingen wat betreft de geologie, hydrologie en geometrie. In tabel 4 is de categorie-indeling weergegeven die uiteindelijk is gehanteerd om te komen tot een selectie van dempingen voor de eerste ronde veldonderzoek.

Tabel 4. Categorie-indeling dempingen.

Cat.	Kenmerken
1	Gericht op dempingen met een, naar verwachting **geringe verspreiding** door het ontbreken van een drijvende kracht achter de verspreiding (geringe hydraulische gradiënt in horizontale/verticale richting). Verwacht wordt dat bij deze dempingen nog een duidelijke bronzone aanwezig is. Nadruk hierbij ligt op de samenstelling van het dempingmateriaal. - Hydrologie: intermediare situatie (overgangsgebied kwel/infiltratie). - Bodemopbouw: ongestoord profiel/geen geulafzetting. - Geometrie: lange demping grenzend aan relatief brede percelen. - Per type dempingmateriaal 1 demping.
2	Gericht op dempingen met een, naar verwachting sterke **verticale verspreiding**, vanwege de sterke infiltratiesituatie. Nadruk hierbij ligt op de effecten van verschillen in bodemopbouw op verspreiding in verticale richting. - Hydrologie: sterke infiltratiesituatie. - Bodemopbouw: (i) situatie met donk, (ii) ondiepe geulafzetting en (iii) ongestoord profiel per bovengenoemde combinatie twee dempingen selecteren. - Geometrie demping minder relevant. - Type dempingmateriaal: zoveel mogelijk verdelen over de verschillende categorieën.
3	Gericht op dempingen met een, naar verwachting sterke mate van **horizontale verspreiding**, vanwege de sterke kwelsituatie. Nadruk ligt op de effecten van verschillen in geometrie (lengte demping/breedte perceel) op verspreiding in horizontale richting. - Hydrologie: sterke kwelsituatiebodemopbouw: niet onderscheidend. - Geometrie: onderscheid tussen lange demping/korte demping en breed/smal perceel. - Type dempingmateriaal: zoveel mogelijk verdelen over de verschillende categorieën.

4.5 **Overzicht geselecteerde dempingen**

In tabel 5 is een overzicht gegeven van de geselecteerde dempingen. In kaart 8 is de ligging van deze dempingen weergegeven. Selectie van deze dempingen heeft plaatsgevonden op basis van de inhoud van de kaarten 1, 2, 4, 5a en 5b.

Tabel 5. Overzicht dempingen eerste ronde veld- en laboratoriumonderzoek.

Hydrologie	Dempingcode	Type dempingmateriaal / type geologie
1. Overgangsgebied kwel – infiltratie	38bz02033 1)	industrieel / geul
	38az02037	shredder /ongestoord
	38bz02062	lompen / geul
	38az02086	bouw- en sloop / ongestoord
	38bz02401	huishoudelijk / geul
	38bz02408	bagger / ongestoord
2. Infiltratiesituatie	38an00299	industrieel / ongestoord
	38az00621 1)	bouw- en sloop / donk
	38az02012	bouw- en sloop / geul
	38az02212 1)	lompen / ongestoord
	38an02007	bouw- en sloop / geul
	38az00647 1)	shredder / geul
	38bn02010	bagger / ongestoord
3. Kwelsituatie	38cn00851	huishoudelijk / geul
	38dn02017	bouw- en sloop / geul
	38cn02364 1)	huishoudelijk / donk
	38dn02291	bouw- en sloop / ongestoord
	38cn02348 1)	bagger / donk

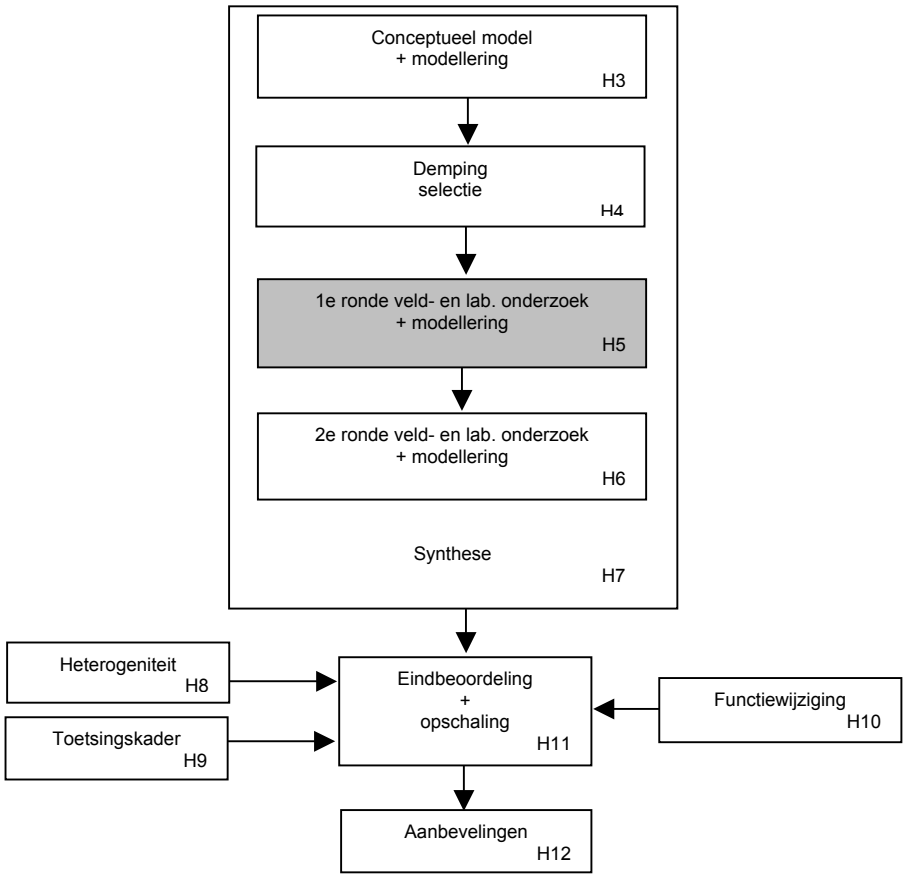
1) Op deze dempingen is naast één van de bemonsteringsgaten een peilbuis geplaatst (zie hoofdstuk 5)

Van de eerder genoemde 7 (mogelijk) verdachte dempingcategorieën is de categorie scheepswerfafval afgevallen, zodat er uiteindelijk 6 categorieën overbleven voor onderzoek. De te onderzoeken dempingen zijn zoveel mogelijk verdeeld over de verschillende categorieën. Echter, bij het selecteren bleken in veel gevallen ook praktische redenen de doorslag te geven voor het wel of niet meenemen van een bepaalde demping. Zo is het aantal dempingen met bouw- en sloopafval zeer groot in tegenstelling tot bijvoorbeeld het aantal shredder dempingen. Niet voor alle dempingen die geschikt zijn was reeds een beheersovereenkomst afgesloten. Ook de combinatie van bijvoorbeeld geologie (donk/rivierduin) met een bepaald type dempingmateriaal was niet altijd 'voorhanden'. Zodoende zijn uiteindelijk meer bouw- en sloopdempingen meegenomen en minder shredder- en industriële dempingen.

HOOFDSTUK 5

EERSTE FASE VELD- EN LABORATORIUMONDERZOEK (VELDONDERZOEK DEMPINGEN)

5.1 Algemeen



In dit hoofdstuk zijn de bevindingen van de eerste fase van het veld- en laboratoriumonderzoek samengevat. Hierbij wordt regelmatig verwezen naar bijlage F waar alle resultaten van het veld-onderzoek en de chemische analyses in tabelvorm zijn opgenomen. In paragraaf 5.2 wordt een beknopt overzicht gegeven van het uitgevoerde veld- en laboratoriumonderzoek. In paragraaf 5.3 worden de resultaten van het onderzoek besproken.
Naar aanleiding van de resultaten van het veld- en laboratoriumonderzoek zijn aanvullende hydrologische en stoftransportberekeningen uitgevoerd. In paragraaf 5.4 worden de resultaten hiervan besproken.

5.2 Overzicht uitgevoerd veld- en laboratoriumonderzoek

De volgende werkzaamheden zijn uitgevoerd (zie voor een impressie de foto's 1 - 4):

Foto 1. Uitvoeren graafwerkzaamheden.

Foto 2. Vrijkomend dempingmateriaal.

Foto 3. Schoenen, klompen en laarzen.

Foto 4. Afwerking met peilbuis.

Onderzoek samenstelling dempingmateriaal

Per demping zijn vanuit het midden met behulp van een Kubota maximaal 5 bemonsteringsgaten gegraven op onderlinge afstand van circa 25 meter. Voor zover mogelijk zijn de gaten doorgezet tot aan de onderzijde van het dempingmateriaal. De aard en samenstelling van het dempingmateriaal en de bovenlaag zijn beschreven, alsmede een aantal andere karakteristieken (mate van toestroming grondwater, waterstand in demping, afstand tot aangrenzende sloot etc). Uit de gaten is (voor zover deze niet droogstonden) een percolaatmonster genomen. Deze watermonsters zijn niet gefiltreerd. In het veld is de zuurgraad, temperatuur en het geleidingsvermogen van het percolaat bepaald. In de gaten die niet droogstonden is vervolgens een peilbuis aangebracht. In totaal zijn 18 dempingen onderzocht. Uiteindelijk zijn op 15 dempingen in totaal 50 percolaatmonsters genomen. Het percolaat uit de bemonsteringsgaten is geanalyseerd op de stoffen, zoals genoemd in paragraaf 4.3.

Plaatsing extra peilbuizen en tussentijdse bemonstering

Om de representativiteit van de grondwatermonsters uit de peilbuizen in de bemonsteringsgaten te kunnen beoordelen is een aantal extra peilbuizen geplaatst in het dempingmateriaal naast de

bemonsteringsgaten. Na plaatsing is een wachttijd van een aantal maanden in acht genomen, waarna de peilbuizen zijn bemonsterd voor analyse op de macrochemische samenstelling (zie paragraaf 4.3). Tussentijds is op een aantal momenten het grondwater uit de peilbuizen in en naast de bemonsteringsgaten bemonsterd en geanalyseerd op een aantal karakteristieke macrochemische parameters om veranderingen in de procesomstandigheden in de tijd vast te stellen. Gedurende het onderzoek is een aantal peilbuizen verdwenen of kon niet meer worden bemonsterd. Hierdoor ontbreekt van sommige peilbuizen de meetreeks of is de meetreeks onvolledig.

Eindbemonstering peilbuizen
Na wachttijd van een aantal maanden is per demping één peilbuis bemonsterd ten behoeve van de analyse op zowel macrochemische als microchemische samenstelling van het grondwater. De peilbuizen naast de bemonsteringsgaten zijn eveneens bemonsterd (analyse grondwatermonsters op beperkte set macrochemische parameters). Zie voor het bemonsteringspakket paragraaf 4.3.

Aanvullende grondbemonstering
Op een aantal dempingen zijn ter hoogte van de filterstelling van geplaatste peilbuizen aanvullende grondmonsters verzameld van het dempingmateriaal voor analyse op de, voor eventuele verspreiding relevante zware metalen (chroom, koper, lood, nikkel en zink), organisch stof en lutum met als doel een verband te leggen met de aanwezige verontreinigingen in percolaat en grondwater.

5.3 Bespreking resultaten uitgevoerd veld- en laboratoriumonderzoek

5.3.1 *Resultaten veldonderzoek*
De resultaten van het veldonderzoek zijn weergegeven in tabelvorm in bijlage F (tabellen 1 en 3).

Conclusies
- In het algemeen komt de typering van het dempingmateriaal goed overeen met de aangetroffen samenstelling. In veel dempingen komen bouw- en sloopafval en houtresten voor. De baggerdempingen zijn moeilijk te onderscheiden in het veld.
- Het dempingmateriaal wordt aangetroffen tot op een diepte van 1 à 1,5 meter beneden maaiveld. In een aantal gevallen kon niet dieper worden gegraven vanwege een obstakel. De breedte van de onderzochte dempingen varieert tussen de 2 en de 5 meter. De afstand tot de aangrenzende sloten varieert tussen 4 en 40 meter met een gemiddelde van circa 17 meter.
- De toestroming van grondwater naar de gegraven gaten was in het algemeen matig tot slecht. Bij 3 dempingen (bouw- en sloop of huishoudelijk) liep het grondwater in alle gevallen snel toe.
- Tijdens het veldonderzoek was sprake van relatief lage grondwaterstanden ter plaatse van de dempingen, waarbij (na wachttijd) het grondwater in de demping vaak lager bleek te staan dan in de aangrenzende sloten. In betrekkelijk veel gevallen stond het dempingmateriaal zelfs helemaal droog (circa 30 van de 80 gaten zijn wel gegraven, maar niet bemonsterd). De gemeten grondwaterstand in de dempingen lagen eind oktober (eindbemonstering) gemiddeld circa 30 cm hoger dan de metingen in juli/augustus.
- De gemeten temperatuur, zuurgraad en het geleidingsvermogen van het grondwater vertonen geen sterk afwijkende waarden ten opzichte van de beschikbare referenties (zie vervolg). Het geleidingsvermogen is enigszins verhoogd ten opzichte van de referenties, wat duidt op beïnvloeding door dempingmateriaal.

5.3.2 *Resultaten laboratoriumonderzoek*

Microchemische samenstelling percolaat (bemonstering via gegraven gaten)
In bijlage F, tabel 2 zijn de resultaten van de chemische analyse samengevat. Alhoewel het formeel niet om grondwatermonsters gaat (ongefiltreerde afvalwatermonsters) zijn de analyseresultaten toch getoetst aan de streef- (S) en interventie- (I)waarden voor grondwater. Aangegeven is of een bepaalde concentratie de S- danwel I-waarde overschrijdt. Indien de I-waarde wordt overschreden is de gemeten concentratie weergegeven. In figuur 14 zijn de gegevens samengevat. Indien in één of meer van de bemonsteringsgaten een concentratie is aangetroffen > I-waarde dan valt deze demping in de betreffende categorie.

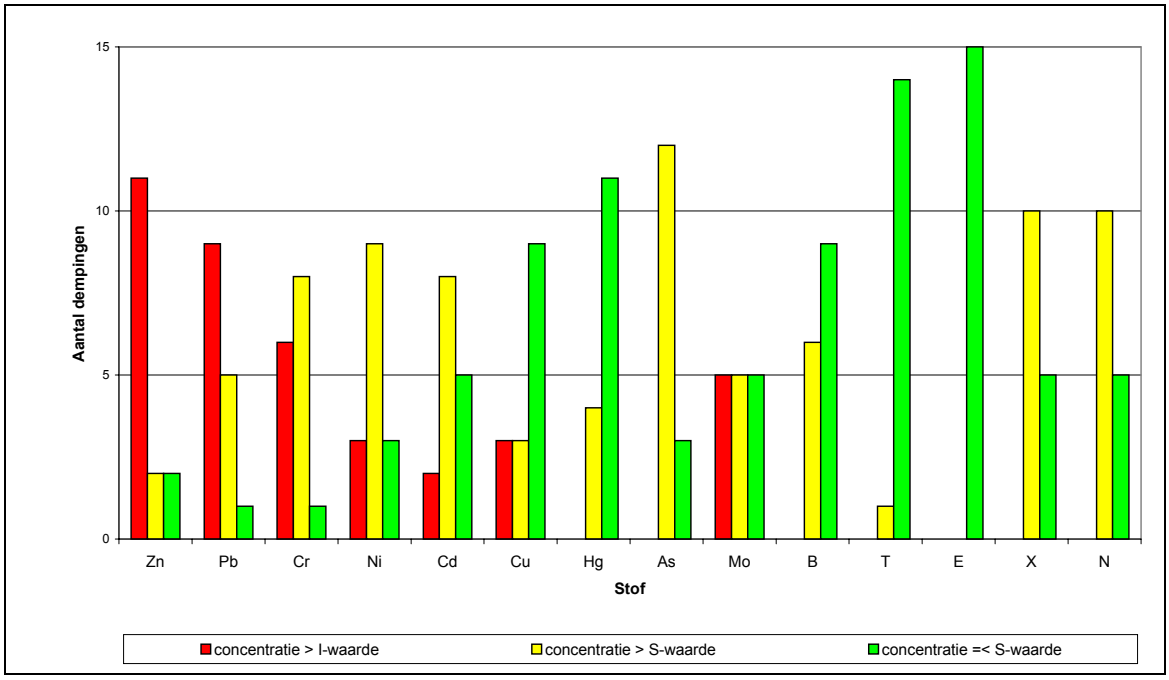


Fig. 14. Overschrijdingen S-/I-waarden percolaat, veldonderzoek.

Conclusies
- In alle dempingen worden zware metalen aangetroffen. Vooral de zware metalen lood (Pb), zink (Zn) en chroom (Cr) en in mindere mate nikkel (Ni), cadmium (Cd) en koper (Cu) worden aangetroffen in concentraties boven de I-waarde.
- In een aantal dempingen wordt minerale olie boven de I-waarde aangetroffen.
- Van de BTEX-componenten worden voornamelijk benzeen (B) en xylenen (X) aangetroffen in concentraties boven de S-waarde.
- Naftaleen (N) wordt vrij regelmatig in concentraties boven de S-waarde aangetroffen.
- Er worden in de demping geen chloorbenzenen aangetroffen (niet aangegeven in de grafiek).
- VOH wordt slechts incidenteel aangetroffen in concentraties > S-waarde (2 van de 50 waarnemingen).

Microchemische samenstelling grondwater in demping (eindbemonstering via peilbuizen)
In bijlage F, tabel 6a zijn de resultaten weergegeven van de analyses op de microchemische samenstelling van het grondwater. Ook deze resultaten zijn getoetst aan de S- en I-waarden voor grondwater. Deze watermonsters zijn wel gefiltreerd. De analyses geven inzicht in dat deel van de verontreinigingen dat in opgeloste vorm aanwezig is in het grondwater. In figuur 15 zijn de resultaten samengevat.

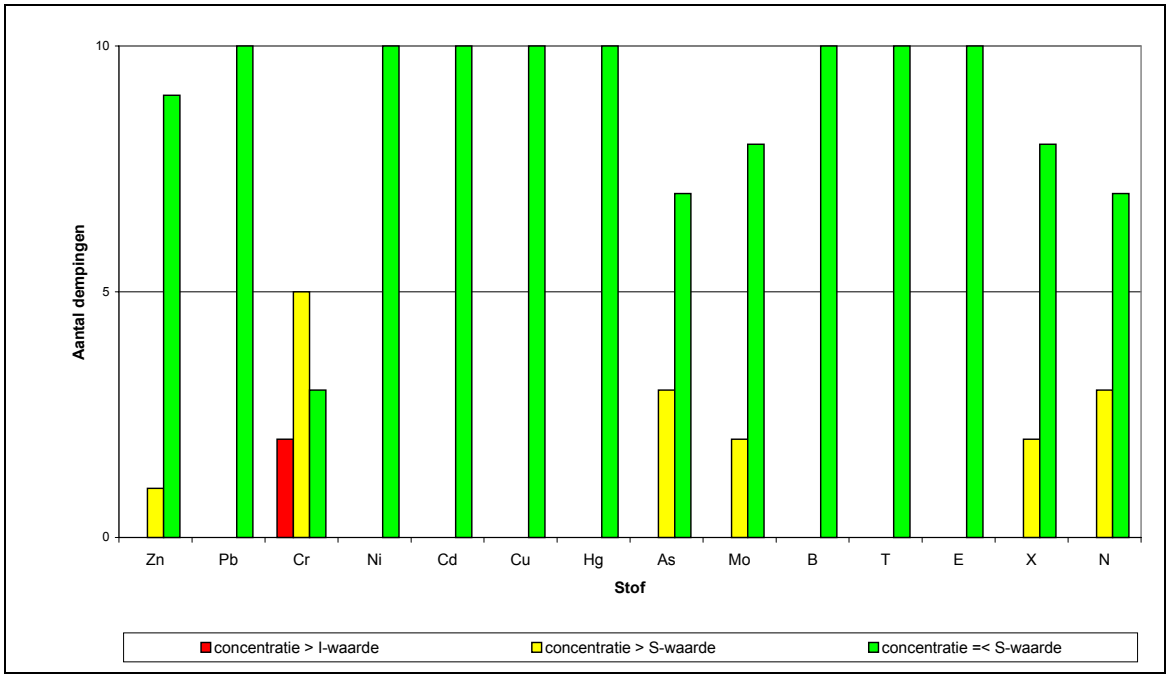


Fig. 15. Overschrijdingen S-/I-waarden grondwater in demping, veldonderzoek.

Conclusies

- Het merendeel van de geanalyseerde stoffen is aangetroffen in concentraties lager dan de S-waarde of onder de detectiegrens.
- De zware metalen zink en arseen, minerale olie, xylenen en naftaleen worden incidenteel aangetroffen in concentraties verhoogd ten opzichte van de S-waarde.
- Chroom is op twee dempingen aangetroffen in een concentratie verhoogd ten opzichte van de I-waarde.
- Op één demping is EOX aangetroffen in een concentratie boven de detectiegrens (niet aangegeven in de grafiek).
- Op één demping wordt VOH (cis 1,2-dichlooretheen) aangetroffen in een concentratie verhoogd ten opzichte van de S-waarde.

In vergelijking met het percolaat zijn de gemeten waarden in het grondwater veel lager. De grondwatermonsters zijn gefiltreerd. Geconcludeerd wordt dat er verontreinigingen aanwezig zijn in het dempingmateriaal, maar dat de beschikbaarheid van deze verontreinigingen voor verspreiding via het grondwater beperkt is.

Macrochemische samenstelling grondwater in demping

In bijlage F zijn in tabelvorm de resultaten van de chemische analyses van de tussentijdse bemonsteringen (tabel 5) en de eindbemonstering (tabel 6b) samengevat. Van een aantal parameters uit tabel 6b (te weten van chloride, ammonium, sulfaat, bicarbonaat, calcium, kalium, magnesium en natrium) zijn referentiemetingen beschikbaar [Boland, 1994]. Deze referentiemetingen zijn samengevat in tabel 7 van bijlage F. De ligging van deze referenties is weergegeven in kaart 8.

Conclusies

Uit de metingen wordt geconcludeerd dat in de dempingen sprake is van sulfaat- of ijzerreducerende omstandigheden. Voor een aantal macrochemische parameters is duidelijk sprake van sterk afwijkende gehalten ten opzichte van de referenties.

Grondanalyses dempingmateriaal
In bijlage F, tabel 4 zijn de grondanalyses in tabelvorm samengevat.

Conclusies
Met name koper, lood en zink worden aangetroffen in concentraties boven de I-waarde. In mindere mate geldt dit voor de stoffen cadmium, chroom en nikkel. De concentratie kwik is in de meeste gevallen verhoogd ten opzichte van de S-waarde. De gemeten waarden komen goed overeen met de in het verleden uitgevoerde grondanalyses.

5.4 Resultaten aanvullende hydrologische en stoftransportmodellering

Als onderdeel van de activiteiten 1 en 2 is een conceptueel model opgesteld aan de hand waarvan meer specifieke numerieke en analytische modellen zijn ontwikkeld. Als onderdeel van activiteit 3 zijn deze modellen verder uitgewerkt en toegespitst op de geselecteerde dempingen. De volgende werkzaamheden zijn uitgevoerd:
- Vaststellen niet-stationaire effecten;
- Vaststellen stroming in en rond dempingen;
- Vaststellen verspreiding verontreinigingen vanuit dempingen.

5.4.1 *Vaststellen niet-stationaire effecten*
De niet-stationaire berekening is uitgevoerd met als doel het verloop van de grondwaterstand in/rond een demping gedurende een hydrologisch jaar in beeld te brengen. Onder invloed van neerslag en verdamping varieert de grondwaterstand gedurende het seizoen en daarmee (in theorie) het stoftransport. Voor route 1 en 2 is het effect hiervan op de grondwaterstroming en het stoftransport echter gering, doordat het verhang in horizontale richting begrensd is door het polderpeil en het maaiveld. Voor route 2 geldt bovendien dat de aanwezigheid van een adsorberende veenlaag sterk remmend werkt op een tijdelijke toe-/afname van de grondwaterstromingssnelheid. Voor route 3 is deze variatie in bepaalde gebieden wel van belang, omdat hierdoor gedurende het seizoen omslag van kwel naar infiltratie kan plaatsvinden en daarmee transport van verontreinigingen naar het diepere grondwater (met name in die gebieden waar adsorberende klei-/veenlagen ontbreken).

Gekozen is voor een representatieve situatie in het gebied rond Stolwijk. Dit gebied is gekozen omdat hier sprake is van een overgangsgebied kwel/infiltratie. De stroming zal hier afhankelijk van de situatie opwaarts danwel neerwaarts gericht zijn, terwijl deze in sterke infiltratie- en kwelgebieden gedurende het gehele seizoen één kant op gericht is. Hierbij is gebruik gemaakt van het bestaande 3D-model. De doorlatendheid van het dempingmateriaal is gesteld op 1 meter/dag (gebaseerd op bevindingen van het veldonderzoek). Voor de gegevens betreffende neerslag en verdamping en de fluctuatie van de stijghoogte in het watervoerend pakket is een meetreeks uit de periode 1990-2000 gekozen (1995), zie figuur 16.

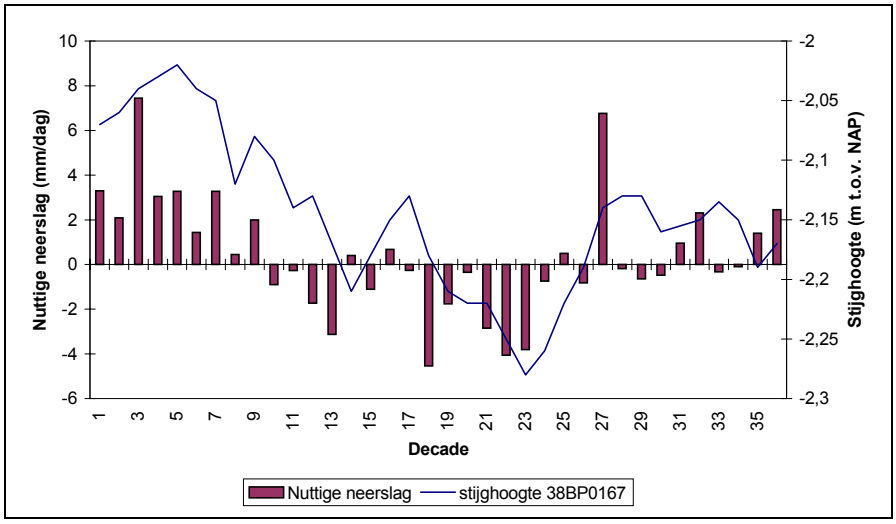


Fig. 16. Nuttige neerslag en stijghoogte peilbuis 38BP0167, jaar 1995.

Figuur 17 geeft het resultaat weer van de niet-stationaire berekening (freatische grondwaterstand per 3 decaden). Het betreft een doorsnede ter hoogte van het midden van de demping. Rond decade 3 staat het grondwater aan maaiveld (NAP –1.5 meter), waarna de grondwaterstand gaat zakken. De grondwaterstand zakt tot onder het polderpeil (NAP –2.15 meter) en komt uiteindelijk (decade 24) op het laagste niveau van circa NAP –3 meter. Dit komt overeen met de onderzijde van de demping. Vervolgens komt de grondwaterstand relatief snel omhoog (neerslagpiek tijdens decade 27) waarna de grondwaterstand nog iets inzakt om vervolgens weer door te stijgen naar waarden tot aan maaiveld.

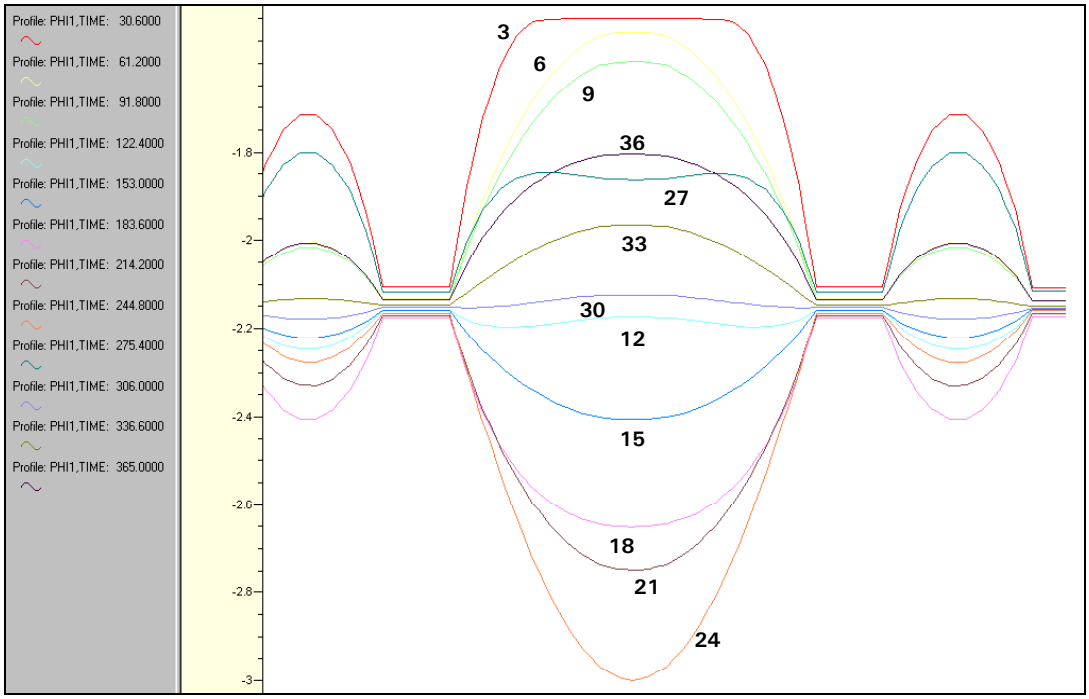


Fig. 17. Berekende grondwaterstand niet-stationaire situatie, midden demping.

De opbolling ten opzichte van het polderpeil ter plaatse van de demping bedraagt maximaal 65 cm (tot aan maaiveld). De uitzakking bedraagt maximaal 85 cm. In de aangrenzende percelen (zonder demping) is deze opbolling en uitzakking minder groot (opbolling maximaal 45 cm, uit-

zakking maximaal 25 cm). De berekende waarden op en naast de dempingen komen redelijk goed overeen met tijdens het veldonderzoek gevonden waarden en met de bevindingen van Boland ([Boland, 1994], zie bijlage A).

Figuur 18 geeft per decade het verschil weer (midden demping) tussen de freatische grondwaterstand en de stijghoogte in het watervoerend pakket. Uit de figuur valt op te maken dat:
- gedurende de decades 1-11 en 27-36 (dus totaal 21 decades) sprake is van een infiltratiesituatie. Het gemiddelde stijghoogteverschil bedraagt 34 cm;
- gedurende de decades 12-26 (dus totaal 15 decades) sprake is van een kwelsituatie. Het gemiddelde stijghoogteverschil bedraagt - 41 cm.

Uit een stroombaanberekening, gebaseerd op de berekende gemiddelde stijghoogten per reken-knoop en per laag, blijkt voor deze specifieke situatie een minimale opwaartse stroming te worden berekend. In de praktijk zal bij deze situaties de (netto) stroomsnelheid van het grondwater in opwaartse, danwel neerwaartse richting, minimaal zijn.

Conclusies
In situaties waarbij het jaarlijks netto stijghoogteverschil over de deklaag minimaal is, zal er toch sprake zijn van verspreiding in verticale richting. De verspreiding, die optreedt in de perioden dat er sprake is van een infiltratiesituatie, zal niet (volledig) teniet worden gedaan in perioden waarbij kwel optreedt. De verspreiding in verticale richting zal echter veel langzamer gaan dan in een situatie waarbij sprake is van een continue (lichte) infiltratiesituatie.

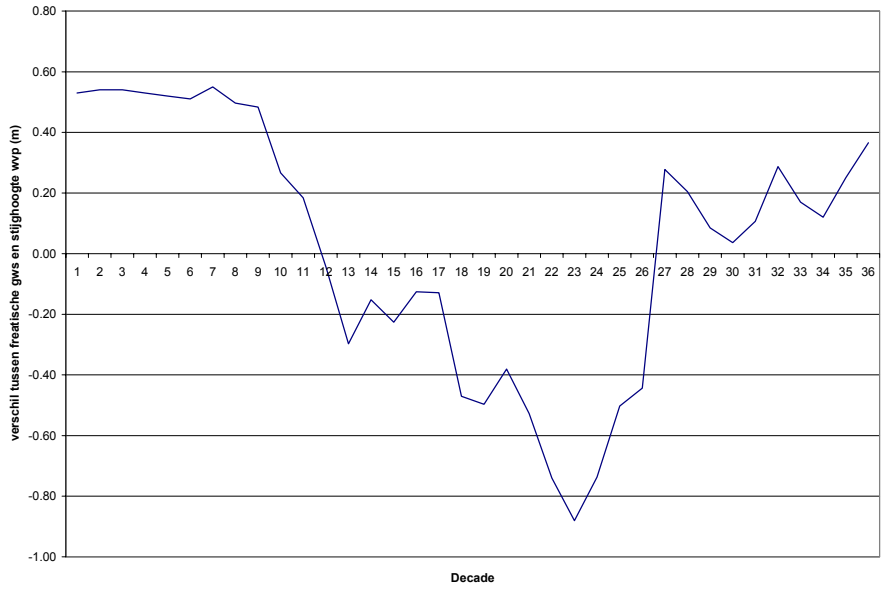


Fig. 18. Stijghoogteverschil over deklaag per decade op midden van de demping.

5.4.2 *Specifieke stroming rond dempingen*
Voor de tijdens het veldonderzoek onderzochte dempingen zijn stationaire berekeningen uitgevoerd met het 3D-model. Hierbij is voor elke demping rekening gehouden met de specifieke omstandigheden ter plaatse van deze demping, te weten polderpeil, stijghoogte, bodemopbouw en maaiveldhoogte. Om het aantal berekeningen te beperken zijn deze gegevens geclassificeerd. Deze classificatie kan gebruikt worden om ook voor andere dempingen uitspraken te doen over de mate van verspreiding die zal optreden. In bijlage D, tabel 2 is deze classificatie toegelicht en zijn de uitgangspunten voor de berekeningen weergegeven. In tabel 3 van bijlage D zijn de berekeningsresultaten weergegeven. Voor elke demping is per route (voor zover relevant) de afgelegde weg en de verblijftijd van het grondwater berekend.

Conclusies

- Afstroming via route 1 wordt in het geval van een ongestoord profiel berekend bij zowel sterke kwel als sterke infiltratie. Bij ligging op een ondiepe geul of een rivierduin vindt in het geval van een sterke infiltratiesituatie geen afstroming meer plaats via route 1. Door de beperkte hydraulische weerstand van de deklaag in combinatie met het grote stijghoogteverschil wordt in deze gevallen de freatische grondwaterstand sterk naar beneden getrokken. De grens waarop grondwater nog afstroomt via de demping ligt op circa 25 meter vanaf de kopse kant. De gemiddelde stroomsnelheid ligt tussen 13,5 en 15 meter/jaar.
- Afstroming via route 2 wordt berekend voor situaties met een matige tot sterke kwelsituatie. De gemiddelde stroomsnelheid ligt hierbij tussen 2,5 en 3 meter/jaar. Bij een matige tot sterke infiltratiesituatie wordt bij geen enkel bodemprofiel afstroming via route 2 berekend.
- Afstroming via route 3 treedt bij alle profielen op in geval van een matige tot sterke infiltratiesituatie waarbij de verblijftijd korter wordt naarmate het stijghoogteverschil groter wordt. In het geval van een lichte kwelsituatie (verschil tussen polderpeil en stijghoogte 0,25 meter) doet zich een aantal keren de situatie voor dat op het midden van de demping (midden perceel) nog net sprake is van een infiltratiesituatie (ten gevolg van opbolling), hetgeen resulteert in neerwaartse stroming met aanzienlijk grote verblijftijden (100 tot 200 jaar). Onder invloed van variatie in neerslag en verdamping zal, gedurende het seizoen, op deze locaties sprake zijn van een afwisseling van kwel en infiltratie (zie onder 5.4.1). Ten gevolge hiervan zal wel transport van verontreinigingen richting watervoerend pakket plaatsvinden, echter veel langzamer dan in het geval van een continue (lichte) infiltratiesituatie.

5.4.3 *Vaststellen verspreiding verontreinigingen vanuit dempingen*

Op grond van de resultaten van de eerste ronde veld- en laboratoriumonderzoek is een aantal uitgangspunten en aannamen voor de stoftransportmodellering nog enigzins aangepast, te weten:

- Bijstelling lutumgehalten (zie bijlage E, tabel 5) [Lochrer, 1987].
- Xylenen als referentie voor lineair adsorberende en afbreekbare stoffen, in plaats van naftaleen.
- Lood en zink als referenties voor niet lineair adsorberende stoffen, in plaats van cadmium.
- Niet lineaire adsorptie is afhankelijk gemaakt van organische stofgehalte en lutumgehalte.
- De bij genoemde stoffen horende stofspecifieke parameters zijn bepaald aan de hand van literatuurgegevens (zie bijlage E).
- De hoogte van de bronterm voor de referentieverontreinigingen is aangepast op grond van de resultaten van het veldonderzoek. Deze brontermen zijn weergegeven in tabel 6, merk op dat de bronconcentraties van lood en zink al beneden de streefwaarde liggen. In bijlage E zijn tevens berekeningen uitgevoerd voor verschillende brontermen per referentieverontreinigingen. Deze berekeningen geven inzicht in het effect van verschillen in bronconcentratie op de mate van verspreiding.
- Voor route 1 is een periode van 100 jaar doorgerekend , voor route 2 en 3 is een periode van 3000 jaar doorgerekend.

Tabel 6. Bronterm eindberekening, inclusief S- en I-waarde (concentraties in µg/l).

	S-waarde	I-waarde	Bronterm
Benzeen	0,2	30	3,3
Xyleen	0,2	70	0,7
Lood	15	75	10,0
Zink	65	800	50,0

De stoftransportberekeningen zijn uitgevoerd per verspreidingsroute. Voor route 1 (via verontreinigd dempingmateriaal) is het moment bepaald, waarop de concentratie aan de kopse kant kleiner wordt dan de streefwaarde. Voor route 2 en 3 (via niet verontreinigde bodem) is het moment

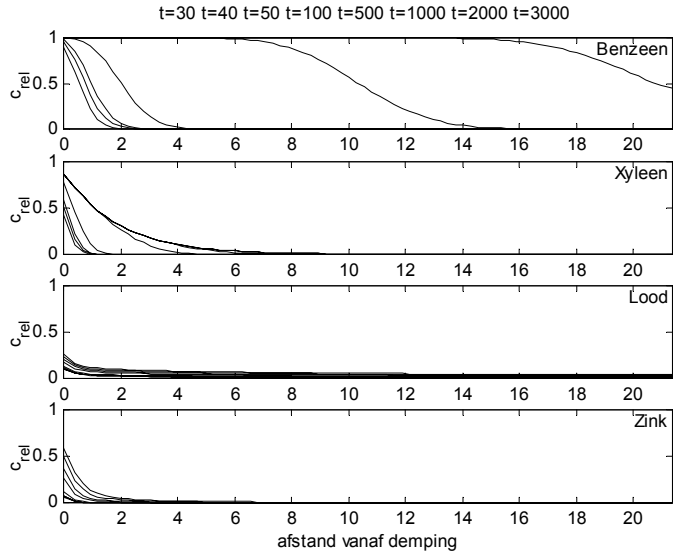
bepaald, waarop de concentratie bij de aangrenzende sloot, danwel het watervoerend pakket, hoger wordt dan de streefwaarde. De resultaten voor route 2 en 3 zijn weergegeven in figuur 19.

Conclusies
Uit de berekeningen blijkt voor route 1 dat:
- de concentratie lood en zink aan de kopse kant binnen 100 jaar niet beneden de streefwaarde komt. Er is veel lood en zink gebonden, waardoor voortdurend nalevering optreedt;
- benzeen binnen 100 jaar uitspoelt (concentraties < S -waarde). Benzeen is een relatief mobiele verontreiniging die uit de demping wordt gespoeld;
- xylenen bij een lage bronterm (rond streefwaarde) binnen 100 jaar uitspoelen. Bij hogere concentraties neemt dit meer dan 100 jaar in beslag;
- op dit moment (ca. 40 jaar na dempen van sloten) er dus nog verontreinigingen aan de kopse kant kunnen worden aangetroffen in concentraties > S-waarde.

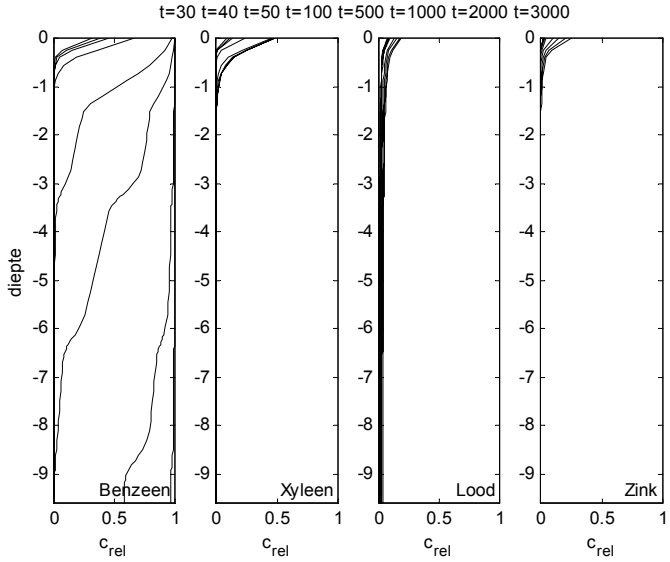
Uit de berekeningen blijkt voor route 2 dat:
- benzeen na 1000 jaar doorslaat met een concentratie hoger dan de streefwaarde, maar maximaal de bronconcentratie die lager is dan de tussenwaarde (nl. 3,3 μg/);
- xyleen na 3000 jaar niet doorslaat. De concentratieverdeling bereikt een stabiele situatie, waarin de toevoer van xyleen vanuit de demping in evenwicht is met de afbraak van xyleen door micro-organismen;
- de loodconcentratie dichtbij de demping na 3000 jaar verdubbeld is (van 1 naar 2 μg/l). De concentratie lood nabij de aangrenzende sloot verandert licht, maar blijft ver onder de streefwaarde (circa 0,5 μg/l);
- zink na 3000 jaar verder het aangrenzend perceel is ingedrongen (4 meter in plaats van 1 meter). De concentratie op 4 meter is echter zeer laag.

Uit de berekeningen blijkt dat voor route 3 (ongestoord profiel):
- benzeen na 2000 jaar doorslaat naar het watervoerend pakket met een concentratie hoger dan de streefwaarde, maar maximaal de bronconcentratie die lager is dan de tussenwaarde (nl. 3,3 μg/l);
- xyleen na 3000 jaar niet doorslaat. De concentratieverdeling bereikt een stabiele situatie, waarin de toevoer van xyleen vanuit de demping in evenwicht is met de afbraak door micro-organismen;
- de loodconcentratie dichtbij de demping na 3000 jaar verdubbeld is (van 1 naar 2 μg/l). De concentratie lood nabij het watervoerend pakket verandert licht, maar blijft ver onder de streefwaarde (circa 0,4 μg/l);
- zink na 3000 jaar verder het bodemprofiel is ingedrongen (2 meter in plaats van 1 meter). De concentratie op 2 meter is echter zeer laag.

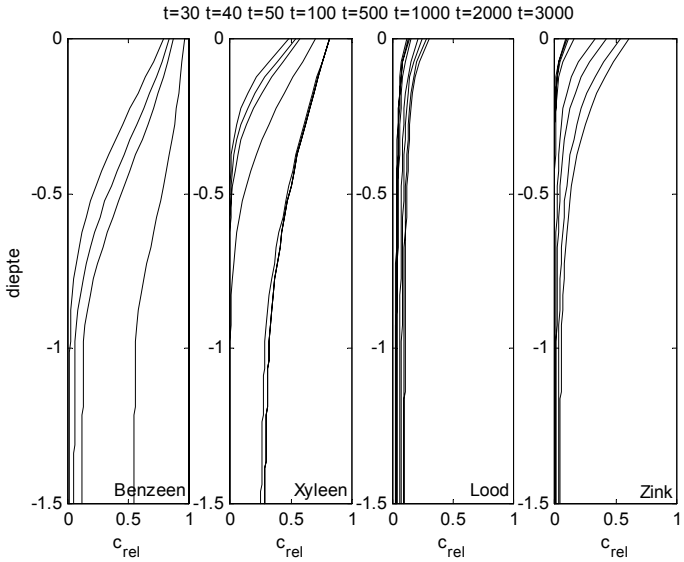
Uit de berekeningen blijkt dat zink na 3000 jaar verder is ingedrongen in horizontale richting (route 2) dan in verticale richting (route 3) terwijl het verhang in horizontale richting kleiner is dan in verticale richting. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat in horizontale richting alleen sprake is van stroming door veen en in verticale richting van stroming door veen en klei. Verschillen in stroomsnelheid en adsorptiecapaciteit zorgen voor verschillen in indringingsdiepte in horizontale en verticale richting.



Route 2 (ongestoord, sterke kwelsituatie), na tweede veldwerkronde



Route 3 (ongestoord, sterke infiltratiesituatie), na tweede veldwerkronde



Route 3 (ondiepe geul, sterke infiltratiesituatie), na tweede veldwerkronde

Fig. 19. Verspreiding via route 2 en 3 op de lange termijn.

Uit de berekeningen blijkt dat voor route 3 (ondiepe geul):
- benzeen na 50 jaar doorslaat naar de ondiepe geul met een concentratie hoger dan de streefwaarde, maar maximaal de bronconcentratie die lager is dan de tussenwaarde (nl. 3,3 μg/l);
- xyleen na 200 jaar doorslaat naar de ondiepe geul. Na 500 jaar bereikt de concentratieverdeling een stabiele situatie, waarin de toevoer van xyleen vanuit de demping in evenwicht is met de afbraak van xyleen door micro-organismen. Op dat moment wordt tot op 0,5 meter onder de demping de streefwaarde overschreden;
- de loodconcentratie dichtbij de demping na 3000 jaar verdrievoudigd is (van 1 naar 3 μg/l). De concentratie lood nabij de ondiepe geul verandert, maar blijft ver onder de streefwaarde (ca. 1 μg/l);
- zink na 3000 jaar doorslaat naar de ondiep geul met een concentratie die ver onder de streefwaarde ligt.

5.5 **Gebruik resultaten bij vervolgonderzoek**

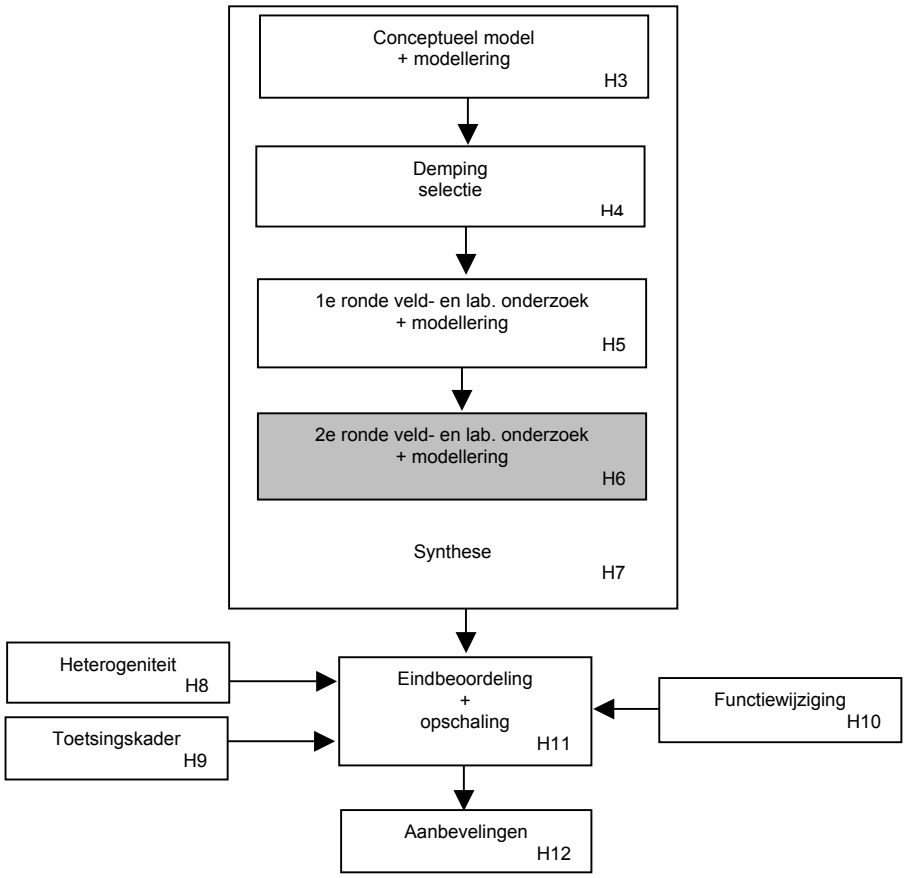
Dit deel van het onderzoek heeft inzicht opgeleverd inzake de grondwaterstroming in en rond dempingen voor verschillende situaties. Op grond hiervan kon worden vastgesteld in welke gevallen afstroming via route 1, 2 of 3 wel/niet relevant is. Ook zijn de effecten van variatie in neerslag en verdamping gedurende het seizoen op het grondwaterstandsverloop en daarmee op het stijghoogteverschil over de deklaag in beeld gebracht. Genoemde resultaten zullen gebruikt worden bij het opschalen van de onderzoeksresultaten.

De stoftransportberekeningen hebben inzicht opgeleverd in de mate van verspreiding die te verwachten valt voor de verschillende situaties. De berekeningsresultaten zijn gebruikt om de tweede ronde veld- en laboratoriumonderzoek op te zetten. Uitgaande van een periode van verspreiding vanaf tijdstip van dempen (circa 1960) tot op heden (t = 40 jaar) en rekening houdend met eventuele effecten ten gevolge van preferente stroming (zie hiervoor verder hoofdstuk 8) wordt het volgende geconcludeerd ten aanzien van de mate van verspreiding:
- Lood en zink verspreiden zich nauwelijks, zowel in horizontale als verticale richting (minder dan 0,5 meter). Preferente stroming heeft weinig invloed op de verspreiding.
- Benzeen verplaatst zich in horizontale richting 1 tot 2 meter. Onder invloed van preferente stroming kan dit aanzienlijk oplopen, tot circa 10 meter gemiddeld.
- Xyleen verplaatst zich in horizontale richting 0 tot 1 meter. Onder invloed van preferente stroming loopt dit enigszins op, maar door de natuurlijke afbraak is de invloed van preferente stroming beperkt (maximaal 2 tot 4 meter).
- Benzeen en xyleen verplaatsen zich in verticale richting (uitgaande van een ongestoord profiel) slechts minimaal (minder dan 1 meter). Door preferente stroming neemt met name de verspreiding van benzeen toe (tot 3 à 4 meter).
- In het geval van een ondiepe geul slaat benzeen door naar de diepte (xyleen niet). Bij preferente stroming is deze doorslag voor benzeen volledig en begint xyleen ook door te slaan.

HOOFDSTUK 6

TWEEDE FASE VELD- EN LABORATORIUMONDERZOEK (VELDONDERZOEK OMGEVING)

6.1 Algemeen



In deze paragraaf zijn de bevindingen van de tweede fase van het veld- en laboratoriumonderzoek samengevat. Voor de resultaten van het veldonderzoek en de chemische analyses wordt verwezen naar bijlage G. In paragraaf 6.2 wordt een beknopt overzicht gegeven van het uitgevoerde veld- en laboratoriumonderzoek. In paragraaf 6.3 worden de resultaten van het onderzoek besproken.
Naar aanleiding van de resultaten van het veld- en laboratoriumonderzoek zijn de bestaande stoftransportberekeningen op onderdelen nog aangepast en zijn de meest relevante resultaten gepresenteerd. Dit is beschreven in paragraaf 6.4.

6.2 Overzicht uitgevoerd veld- en laboratoriumonderzoek

Als onderdeel van activiteit 3 is op een aantal dempingen veldonderzoek uitgevoerd naar de aard en chemische samenstelling van het dempingmateriaal. Als onderdeel van activiteit 4 is op een selectie van deze dempingen veldonderzoek verricht naar de eventuele verspreiding van verontreinigingen vanuit het dempingmateriaal naar oppervlaktewater (route 1, via kopse kanten en route 2, via aangrenzende percelen) en naar het grondwater in het watervoerend pakket (route 3) en naar de procesomstandigheden waaronder dit plaatsvindt.

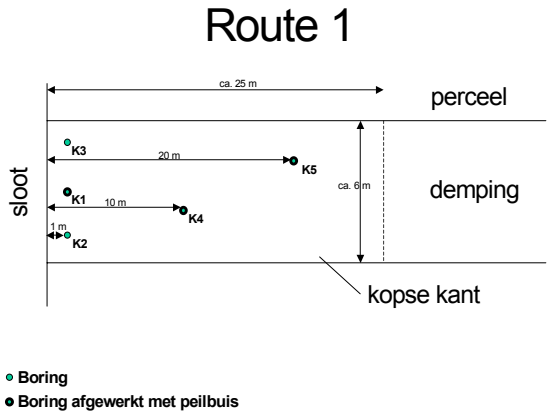
Selectie dempingen
In tabel 7 is een overzicht opgenomen van de geselecteerde dempingen voor de tweede fase veld- en laboratoriumonderzoek (zie voor de ligging van deze dempingen kaart 8). Bij de selectie van dempingen is rekening gehouden met de volgende criteria:
- 'hoge' bronterm zware metalen en (voor zover beschikbaar) aanwezigheid BTEX en naftaleen;
- verschillen in bodemopbouw;
- verschillen in hydrologie (kwel, intermediair, infiltratie);
- aanwezigheid kopse kant.

De bemonsteringsdiepten en afstanden vanaf de demping zijn bepaald aan de hand van de stoftransportberekeningen (zie paragraaf 5.5). Elke route is in totaal 4 keer onderzocht. In totaal zijn 7 dempingen geselecteerd voor onderzoek.

Tabel 7. Overzicht dempingen tweede ronde veld- en laboratoriumonderzoek.

Hydrologie	Demping-code	Type dempingmateriaal / type geologie	Onderzochte routes 2e onderzoeksronde
Overgangsgebied kwel - infiltratie	38bz02033	industrieel, shredder / geul	2,3
	38bz02062	lompen / geul of ongestoord	2,3
	38az02086	bouw- en sloop / ongestoord	1
Infiltratiesituatie	38az02212	lompen / ongestoord	1,3
	38an02007	bouw- en sloop / geul	2,3
Kwelsituatie	38dn02017	bouw- en sloop / geul	1,2
	38cn02364	huishoudelijk / donk	1

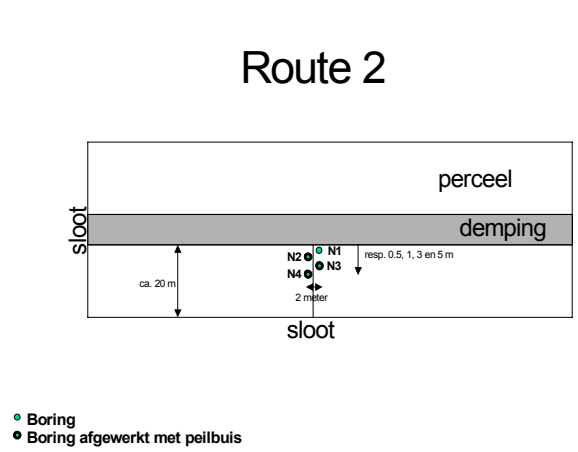
Uitgevoerd onderzoek
Onderstaand is per route een overzicht gegeven van de uitgevoerde werkzaamheden.



Uitgevoerd onderzoek route 1
Aan één kopse kant van de demping zijn direct aan de slootkant (circa 1 meter afstand) en op circa 10 en 20 meter afstand vanaf de slootkant in totaal vijf boringen geplaatst tot in het verzadigde deel van de demping (maximaal 1,5 meter diep. Uit elke boring is een grondmengmonster verzameld. Drie boringen (op 1, 10 en 20 meter vanaf de slootkant) zijn afgewerkt met een peilbuis (filterlengte 1 meter) en een straatpot.

Na wachttijd (minimaal 4 weken) zijn de peilbuizen bemonsterd, waarbij tevens in het veld de zuurgraad (pH), het geleidingsvermogen (Ec) en de temperatuur (T) zijn bepaald. Van het grondwater in filter K1 zijn tevens de redox en het zuurstofgehalte in het veld bepaald.

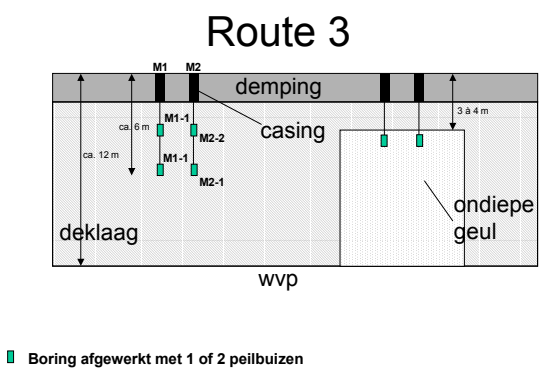
Alle grondmonsters zijn geanalyseerd op de zware metalen chroom, koper, lood, nikkel en zink. Daarnaast zijn de grondmengmonsters K1, K3 en K5 geanalyseerd op organisch stof- en lutumgehalte. Alle watermonsters zijn geanalyseerd op chroom, koper, lood, nikkel, zink, BTEX en naftaleen. Het watermonsters uit filter K1 is verder nog geanalyseerd op ammonium, ijzer, nitraat en sulfaat.



Uitgevoerd onderzoek route 2

Langs een raai aan één zijde van de demping (de zijde met de kortste afstand tot de aangrenzende sloot) zijn 4 boringen geplaatst tot 2,5 meter-mv. De boringen zijn geplaatst op respectievelijk 0,50, 1, 3 en 5 meter vanaf de rand van de demping. De boringen zijn versprongen geplaatst met een tussenliggende afstand van 2 meter. De boringen zijn per 0,50 meter of per bodemlaag bemonsterd. Een selectie van de grondmonsters is geanalyseerd. De boringen op 1 en 3 en 5 meter afstand van de demping zijn afgewerkt met een peilbuis (filterlengte 1 meter) en een straatpot. Na wachttijd (minimaal 4 weken) zijn de peilbuizen bemonsterd, waarbij tevens in het veld de zuurgraad (pH), het geleidingsvermogen (Ec) en de temperatuur (T) zijn bepaald. Van het grondwater in filter N4 zijn tevens de redox en het zuurstofgehalte in het veld bepaald.

De geselecteerde grondmonsters zijn geanalyseerd op de zware metalen chroom, koper, lood, nikkel en zink. Alle watermonsters zijn geanalyseerd op chroom, koper, lood, nikkel, zink, BTEX en naftaleen. Het watermonster uit filter N4 is verder nog geanalyseerd op ammonium, ijzer, nitraat en sulfaat.



Uitgevoerd onderzoek route 3

Het onderzoek naar de eventuele verspreiding via route 3 is niet geheel uitgevoerd zoals van te voren was gepland. Oorspronkelijk was het de bedoeling om op twee dempingen met een (ondiepe) geul en twee dempingen met een ongestoord profiel twee boringen uit te voeren tot maximaal 6 m-mv. De boringen ter plaatse van de dempingen op een ongestoord profiel zouden worden afgewerkt met twee filters per boring, de boringen ter plaatse van de dempingen met één filter per boring. Tijdens de uitvoering van het veldwerk zijn echter geen geulen aangetroffen, zodat op alle vier onderzochte dempingen het veldwerk is uitgevoerd zoals bij een ongestoord profiel. De boringen zijn uitgevoerd met een verloren casing tot 1 meter onder de onderzijde van de demping om contaminatie van het boorgat met dempingmateriaal te voorkomen. De grond uit de boring is per 0,50 meter of per bodemlaag bemonsterd. Een selectie van de grondmonsters is geanalyseerd (selectie op basis stoftransportberekeningen). Beide boringen zijn afgewerkt met elk twee filters, te weten van 5,5 tot 6 m-mv en 2,5 tot 3 m-mv (filterlengte 0,50 meter). Na wachttijd (minimaal 4 weken) zijn de peilbuizen bemonsterd, waarbij tevens in het veld de zuurgraad (pH), het geleidingsvermogen (Ec) en de temperatuur (T) worden bepaald. Van één van de diepe filters zijn tevens de redox en het zuurstofgehalte in het veld bepaald.

De geselecteerde grondmonsters zijn geanalyseerd op de zware metalen chroom, koper, lood, nikkel en zink. Daarnaast is een aantal grondmonsters geanalyseerd op organisch stof- en lutumgehalte. Alle watermonsters zijn geanalyseerd op chroom, koper, lood, nikkel, zink, BTEX en naftaleen. Eén van de diepe filters is verder nog geanalyseerd op ammonium, ijzer, nitraat en sulfaat.

Overig uitgevoerd onderzoek
Naast het onderzoek ter plaatse van de dempingen zijn 7 bestaande TNO/NITG-peilbuizen (landbouwbuizen) geselecteerd. Deze peilbuizen zijn bemonsterd en geanalyseerd op chroom, koper, lood, nikkel, zink, BTEX en naftaleen. De meetresultaten zijn gebruikt als referentiewaarden. Voor de ligging van deze referentie peilbuizen wordt verwezen naar kaart 8.

Verder was het de bedoeling om ter plaatse van drie dempingen, die in het verleden reeds zijn onderzocht, een herbemonstering uit te voeren op bestaande peilbuizen. Ter plaatse van deze dempingen zijn destijds in geul of watervoerend pakket verhoogde gehalten van één of meerdere verontreinigende stoffen aangetroffen. Helaas bleken deze peilbuizen niet meer aanwezig te zijn. Wel zijn deze dempingen (bronterm, geologie en hydrologie) gebruikt om via een aanvullende stoftransportberekening na te gaan of verspreiding tot in de geul of het watervoerend pakket te verwachten valt.

6.3 Bespreking resultaten uitgevoerd veld- en laboratoriumonderzoek

6.3.1 *Resultaten veldonderzoek*
De resultaten van het veldonderzoek zijn weergegeven in bijlage H, tabel 1.

Conclusies
- Ter plaatse van de onderzochte kopse kanten van de dempingen is dempingmateriaal aangetroffen. De samenstelling hiervan komt goed overeen met de samenstelling op het midden van de demping. Het dempingmateriaal komt tot op gelijke of iets grotere diepte voor als op het midden van de demping.
- De tijdens het veldonderzoek gemeten temperatuur, zuurgraad en het geleidingsvermogen vertonen geen sterke afwijkingen. Ten opzichte van de referenties lijkt met name het gemeten elektrische geleidingsvermogen ter plaatse van de dempingen wat hoger uit te vallen. Dit kan duiden op beïnvloeding door het dempingmateriaal.

6.3.2 *Resultaten laboratoriumonderzoek*

Grond
De resultaten van het laboratoriumonderzoek voor grond zijn weergegeven in bijlage G, de tabellen 2 en 3. In tabel 8 zijn de analyseresultaten voor grond voor route 1, 2, en 3 gevisualiseerd. In de afzonderlijke staafdiagrammen wordt weergegeven hoeveel van de geanalyseerde zware metalen (lood, koper, zink, chroom en nikkel) zich beneden de S-waarde (groen), tussen de S- en T-waarde (geel), tussen de T- en I-waarde (oranje) en boven de I-waarde (rood) bevinden. Elke “staaf” geeft de positie in de demping (route 1) of ten opzichte van de demping (route 2/3) weer.

Conclusies
- Aan de kopse kant (route 1) wordt een aantal zware metalen (koper, lood en zink) regelmatig aangetroffen in concentraties verhoogd ten opzichte van de I-waarde. Soms is dit direct aan de kopse kant, soms op grotere afstand van de kopse kant of soms langs het gehele bemonsterde traject. Verder komt nikkel voor in gehalten maximaal verhoogd ten opzichte van de T-waarde. Chroom wordt slechts incidenteel (2x) aangetroffen in concentraties boven de S-waarde.
- Naast de dempingen (route 2) wordt ter plaatse van demping 2062 tot op 5 meter afstand nikkel aangetroffen in concentraties verhoogd ten opzichte van de S-waarde. Ter plaatse van demping 2033 wordt alleen op 0,5 meter afstand van de demping een ten opzichte van de S-waarde verhoogde concentratie nikkel en zink aangetroffen. Voor het overige zijn geen verhoogde gehalten aangetroffen naast de onderzochte dempingen.
- Onder de dempingen (route 3) wordt incidenteel zink aangetroffen in concentraties verhoogd ten opzichte van de I-waarde (dempingen 2033 en 2212). Deze I-waarde overschrijdingen

komen voor tot 0,5 meter onder de demping. Nikkel komt regelmatig voor in concentraties groter dan de S-waarde, ook op grotere diepten onder de demping. Chroom, koper en lood komen incidenteel voor in concentraties groter dan de S-waarde (waarbij éénmaal sprake is van een T-waarde overschrijding voor lood).

Grondwater, microchemie

De resultaten van het laboratoriumonderzoek voor grondwater (microchemie) zijn weergegeven in bijlage G, tabel 4. In tabel 9 zijn de analyseresultaten voor grondwater voor route 1, 2 en 3 gevisualiseerd. De opbouw van de staafdiagrammen is vergelijkbaar met de opbouw in tabel 8. Nu worden naast de resultaten voor zware metalen ook de resultaten voor BTEXN gevisualiseerd. De resultaten voor BTEXN zijn in aparte “staven” en kleuren weergegeven.

Conclusies

- Aan de kopse kant (route 1) wordt regelmatig chroom aangetroffen in concentraties verhoogd ten opzichte van de S-waarde (éénmaal verhoogd ten opzichte van I-waarde). Behoudens één S-waarde overschrijding voor nikkel liggen de gemeten concentraties van de overige geanalyseerde zware metalen onder de S-waarde of detectiegrens. Daarnaast is éénmaal benzeen/xylenen aangetroffen in concentraties verhoogd ten opzichte van de S-waarde. Naftaleen komt een aantal malen voor in concentraties boven de S-waarde.
- Naast de dempingen (route 2) is de situatie vergelijkbaar met route 1. Chroom wordt regelmatig aangetroffen in concentraties die (net) boven de S-waarde liggen (geen I-waarde overschrijdingen). Verder éénmaal een zinkconcentratie iets verhoogd ten opzichte van de S-waarde. Voor BTEX en naftaleen geldt: alle gemeten concentraties lager dan de detectiegrens.
- Onder de dempingen (route 3) wordt incidenteel chroom (3x), koper (1x), lood (1x) of zink (3x) aangetroffen in concentraties iets verhoogd ten opzichte van de S-waarde. Meestal gaat het hierbij om het ondiepe filter (3 m-mv). Ter plaatse van de dempingen 2212 en 2033 is echter ook in de diepe filters (6 m-mv) sprake van een S-waarde overschrijding (chroom en zink). Verder is op 3 dempingen (in de ondiepe filters) een concentratie benzeen gemeten die (iets) verhoogd is ten opzichte van de S-waarde. Op 3 dempingen is eveneens een ten opzichte van de S-waarde verhoogde concentratie naftaleen gemeten. Opmerkelijk hierbij is dat het in 2 gevallen gaat om het diepe filter, terwijl in het ondiepe filter geen naftaleen is aangetoond.
- In 2 referentiepeilbuizen worden concentraties zink en/of chroom gemeten in concentraties boven de S-waarde. Met name de gemeten concentraties zink zijn substantieel (430 µg/l in peilbuis 38BP0170 en 160 µg/l in peilbuis 38CL0845). Deze peilbuizen liggen respectievelijk in het oostelijke en zuidelijke deel van de Krimpenerwaard.

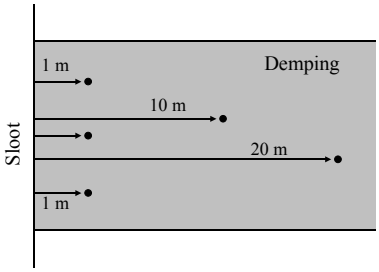
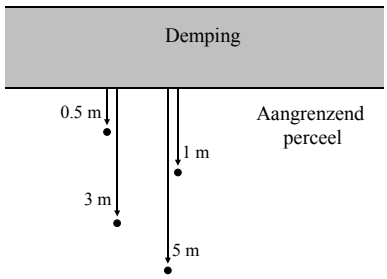
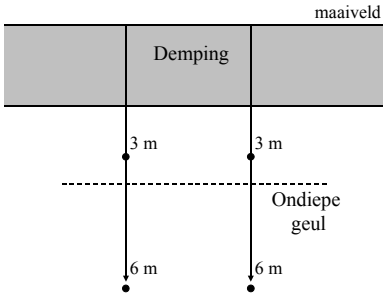
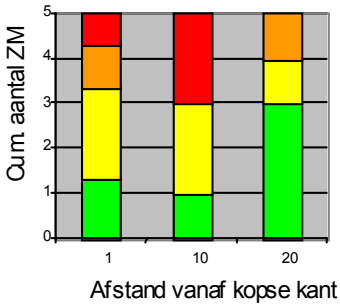
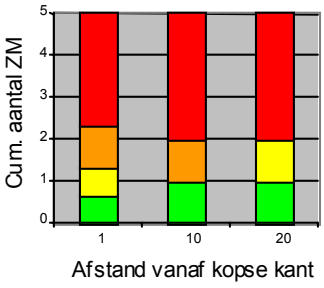
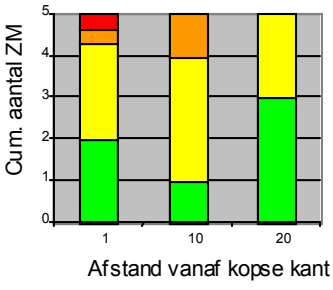
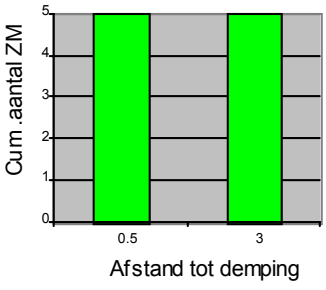
Grondwater, macrochemie

De resultaten van het laboratoriumonderzoek voor grondwater (macrochemie) zijn weergegeven in bijlage G, tabel 5.

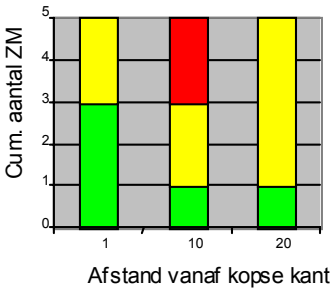
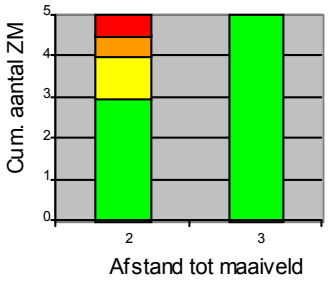
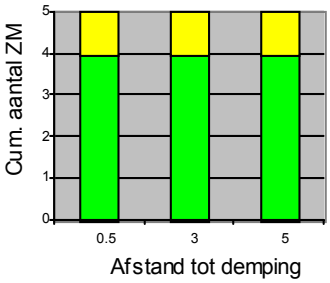
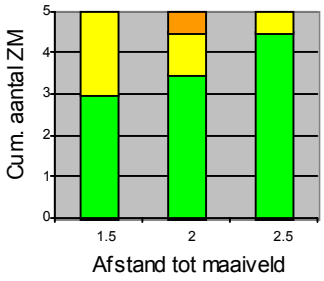
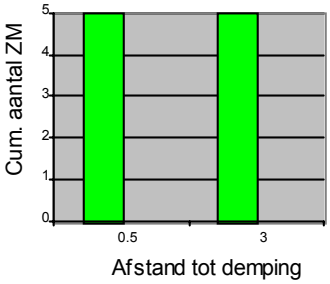
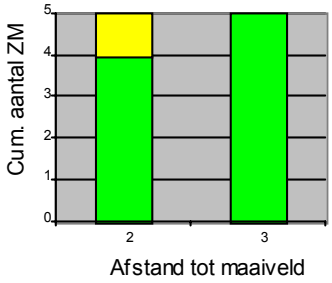
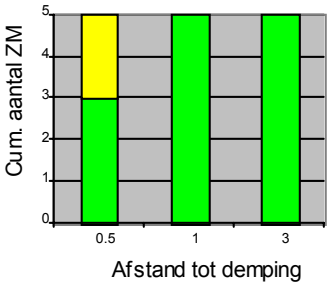
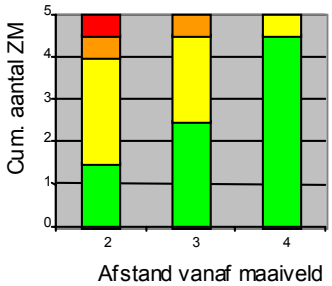
Conclusies

- De gemeten concentraties ammonium liggen tussen 3,8 en 63,7 mg/l. Onder de dempingen worden relatief hoge waarden gemeten en aan de kopse kanten relatief lage waarden.
- De gemeten concentraties sulfaat liggen tussen 0,9 en 440 mg/l. De concentraties naast de dempingen zijn relatief hoog. De concentraties sulfaat onder de dempingen zijn relatief laag.
- De gemeten concentraties nitraat liggen vrijwel altijd beneden de detectiegrens (<0,04 mg/l).
- Het gemeten ijzergehalte varieert tussen 490 en 23000 µg/l met wisselende gehalten per route.
- Voor alle 3 de routes geldt dat er sprake is van gereduceerde omstandigheden met lage zuurstofgehalten (kleiner dan 0,69 mg/l) en een ijzer- of sulfaatreducerend milieu.

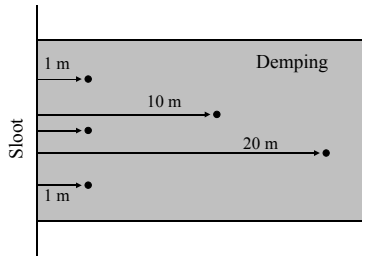
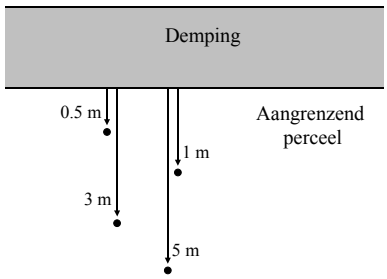
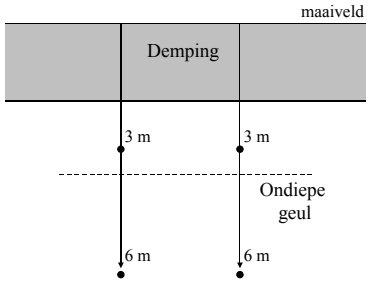
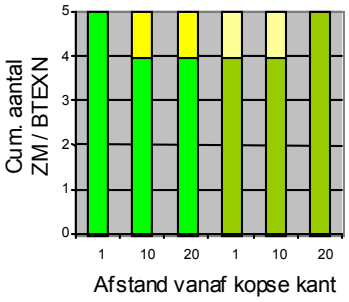
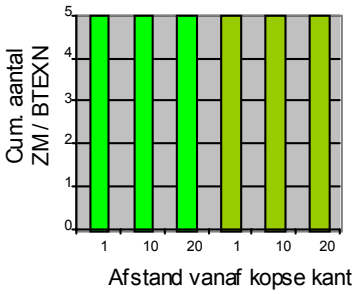
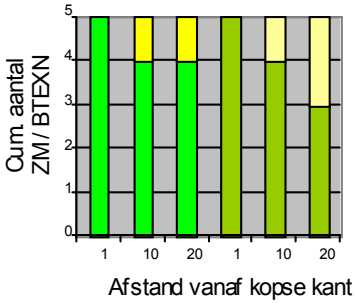
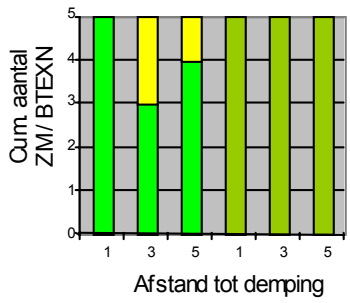
Tabel 8. Resultaten grondanalyse route 1, 2 en 3.

	Route 1	Route 2	Route 3
			
Demping 2086			
Demping 2364			
Demping 2017			

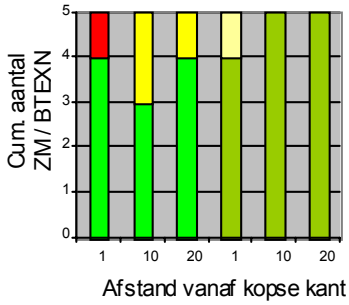
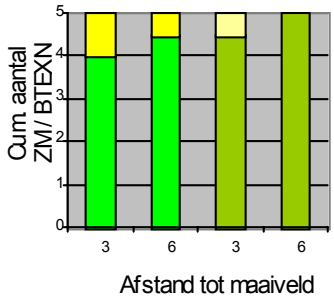
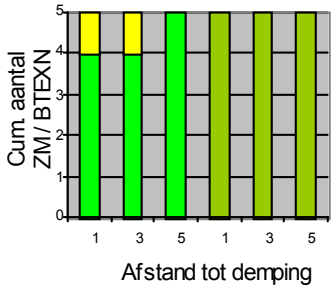
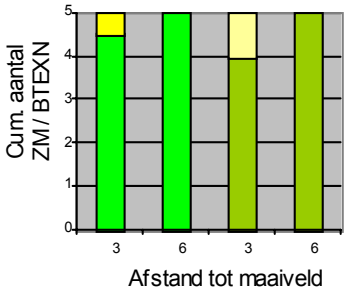
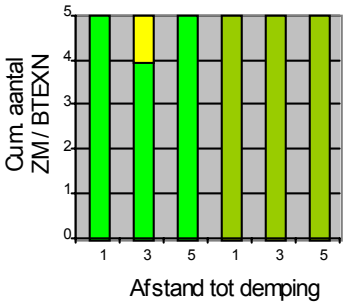
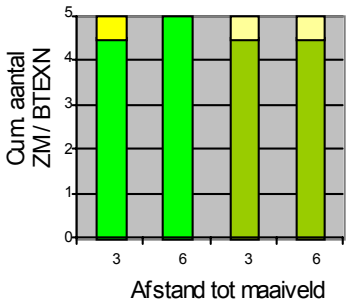
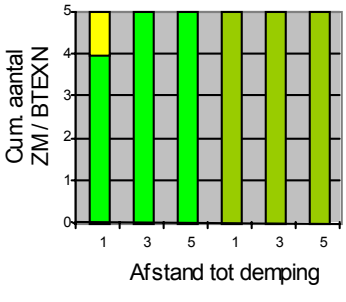
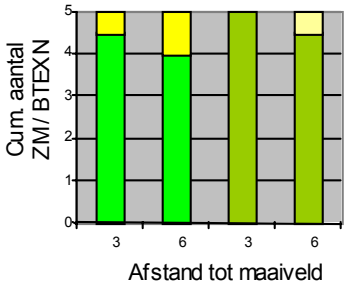
Tabel 8. Resultaten grondanalyse route 1, 2 en 3 (vervolg).

Demping 2212			
Demping 2062			
Demping 2007			
Demping 2033			

Tabel 9. Resultaten grondwateranalyses route 1, 2 en 3.

	Route 1	Route 2	Route 3
			
Demping 2086			
Demping 2364			
Demping 2017			

Tabel 9. Resultaten grondwateranalyses route 1, 2 en 3 (vervolg).

Demping 2212			
Demping 2062			
Demping 2007			
Demping 2033			

6.4 **Resultaten aanvullende stoftransportmodellering**

De resultaten van de tweede ronde veld- en laboratoriumonderzoek en de modellering zijn vergeleken en komen over het algemeen goed overeen. Dit is verder uitgewerkt in hoofdstuk 7. Er zijn enkele uitzonderingen, waarvoor de volgende aanvullende berekeningen zijn uitgevoerd:

- Voor de dempingen 2033 en 2212 in verband met het voorkomen van relatief hoge gehalten verontreinigingen in relatie tot de relatief grote mate van verspreiding (zie paragraaf 6.4.1).
- Voor drie dempingen op een (on)diepe geul, waarbij gebruik gemaakt wordt van gegevens van oude onderzoeksrapporten. Deze berekeningen zijn bedoeld om te bepalen in hoeverre de in het verleden geconstateerde verontreinigingen in de geulen/ watervoerend pakket kunnen zijn veroorzaakt door verspreiding vanuit de dempingen (zie paragraaf 6.4.2).
- In verband met toekomstige functiewijzigingen (natuurontwikkeling) in de Krimpenerwaard onderzoek uitvoeren naar het effect van een lagere pH op de mobiliteit en verspreiding van verontreinigingen (wordt apart behandeld in hoofdstuk 10).

6.4.1 *Verspreiding rond de dempingen 2033 en 2212*

Bij deze dempingen is op basis van de tweede veldwerkronde geconstateerd dat sprake was van een hogere bronterm (2033; lood en zink) en/of een grotere verspreiding dan bij de andere onderzochte dempingen (zowel 2033 als 2212). Om die reden is besloten deze dempingen apart te bekijken waarbij rekening is gehouden met de specifieke eigenschappen. De uitgangspunten voor de berekening zijn weergegeven in tabel 10.

Tabel 10. Uitgangspunten specifieke berekeningen.

Demping	2033	2212	561/148+208	561/020+039	051-101/13
Hydrologie	Kwel/infiltratie 0,25	Infiltratie 1,25	Infiltratie 0,25	Kwel 0,25	Infiltratie 0,25
Geologie	Ongestoord	Ongestoord	Diepe geul	Diepe geul	Diepe geul
Bronterm (µg/l):					
- Benzeen	1,4	3,3	*15*	10	45
- Xyleen	0,9	0,7	*35*	*35*	1160
- Lood	*200*	5,0	*75*	*150*	110
- Zink	*2000*	11	*800*	*430*	450
Demping					
- lutum	-	10,4	-	-	-
- organische stof	-	55	-	-	-
- pH	-	-	8,0	7,5	8,0
Omgeving					
- lutum	14	5,3	-	-	-
- organische stof	76	87	-	-	-
- pH	6,6	6,6	8,0	8,0	8,0

-: onbekend *cursief*: geschatte waarde o.b.v. 1e veldwerkronde (vergelijking metingen grond-grondwater)

Conclusies

Uit de berekeningen blijkt dat voor demping 2033 na 30 jaar:

- benzeen tot circa 1 meter onder de demping is doorgedrongen. Tot 0,5 meter onder de demping kan de streefwaarde worden overschreden;
- xyleen tot 0,5 meter onder de demping is doorgedrongen. De concentratie xyleen is overal beneden de streefwaarde;
- lood tot ver onder de demping is doorgedrongen, maar in zeer lage concentraties beneden de streefwaarde;
- zink tot 0,5 meter onder de demping is doorgedrongen, maar in concentraties lager dan de streefwaarde.

De resultaten voor demping 2212 zijn vergelijkbaar met de resultaten van demping 2033. De berekende concentraties voor lood en zink zijn lager als gevolg van lagere bronconcentraties.

Ter plaatse van demping 2033 zijn in de twee boringen onder de demping in de grond maximale zinkconcentraties aangetroffen van 610 mg/kgds (1,0 tot 1,5 m – onderzijde demping) en 1300 mg/kgds (0,5 tot 1,0 m – onderzijde demping). Het gaat hier om T- en I-waarde overschrijdingen. In het grondwater zijn op diepten van 1,5 tot 2,0 en 4,5 tot 5,0 m- onderzijde demping gehalten aangetroffen tussen circa 70 en 120 µg/l (S-waarde overschrijdingen). Bij één van de twee sets peilbuizen was de zinkconcentratie in het ondiepe filter veel lager dan in het diepe filter. Geconcludeerd wordt dat ook met de resultaten van de aangepaste berekening de aangetroffen grond- en grondwaterconcentraties in demping 2033 niet kunnen worden verklaard.

Ter plaatse van demping 2212 is in één boring onder de demping lood (500 mg/kgds) en zink (2000 mg/kgds) aangetroffen in de grond (respectievelijk T- en I-waarde overschrijding). De diepte van voorkomen van deze grondverontreiniging is 0,3 tot 0,8 m-onderzijde demping. In het grondwater is op een diepte van 1,3 tot 1,8 m-onderzijde demping een S-waarde overschrijding aangetoond voor lood. In de grond zijn geen verontreinigingen aanwezig in de laag ter hoogte van het filter. Het voorkomen van hoge lood- en zinkconcentraties in de grond tot op 0,8 m- onderzijde demping is niet te verklaren vanuit de aangepaste berekeningen. Ook de grondwateranalyses leveren geen aanwijzingen voor deze hoge gehalten in de grond. Mogelijk zijn deze hoge gehalten veroorzaakt door uitzakking of bijmenging van het dempingmateriaal tijdens bemonstering. De betreffende boorstaat laat zien dat de samenstelling van het dempingmateriaal grote gelijkenis vertoont met de onderliggende lagen (mineraalarm veen). Mogelijk dat het grensvlak tussen demping en ondergrond hierdoor moeilijker was vast te stellen.

6.4.2 *Verspreiding rond eerder onderzochte dempingen*

In tabel 11 zijn van drie dempingen, waar in het verleden verontreinigingen in het diepere grondwater zijn aangetroffen, de karakteristieke gegevens vermeld. Op deze dempingen was veldonderzoek (herbemonstering) gepland. Echter, doordat de bestaande peilbuizen niet meer aanwezig bleken te zijn, is hier geen veldonderzoek uitgevoerd.
Deze situaties zijn doorgerekend met de bestaande modellen. Zie voor de uitgangspunten van de berekeningen tabel 10.

Tabel 11.Gegevens van dempingen met verontreinigingen in het diepere grondwater.

<u>561/148+208: Benedenheulseweg te Stolwijk</u> - ligging op diepe geul (vanaf 7,5 m-mv) - overgangsgebied kwel/infiltratie - grondwaterverontreiniging met zink tot boven I-waarde (1.700 µg/l) en chroom, koper en lood boven S-waarde. Aangetroffen op een diepte van 7,0 tot 8,0 m-mv. - gehalten in grondwater demping: niet gemeten. Concentraties grond afdeklaag: zink, chroom, koper en lood maximaal > I-waarde.
<u>561/020+039: Westvlisterdijk te Vlist</u> - ligging op ondiepe (3 m-mv) en diepe geul (6,5 m-mv) - lichte kwelsituatie - grondwaterverontreiniging met vooral zink boven S-waarde (380 µg/l), maar ook chroom, koper en lood. Aangetroffen op een diepte van 5,5 tot 6,5 m-mv. - gehalten in grondwater demping: niet gemeten. Concentraties grond: zink T- tot I-waarde, chroom, koper en lood S- tot I-waarde.
<u>051-101/13: Westeinde te Berkenwoude</u> - ligging op diepe geul (8,4 m-mv) - lichte infiltratiesituatie - verontreiniging met lood, xylenen en naftaleen boven S-waarde. Aangetroffen op een diepte van circa 10 tot 11 m-mv. - gehalten in grondwater demping: lood 30 tot 110 µg/l, xylenen 20 tot 1160 µg/l en naftaleen 1 tot 32 µg/l.

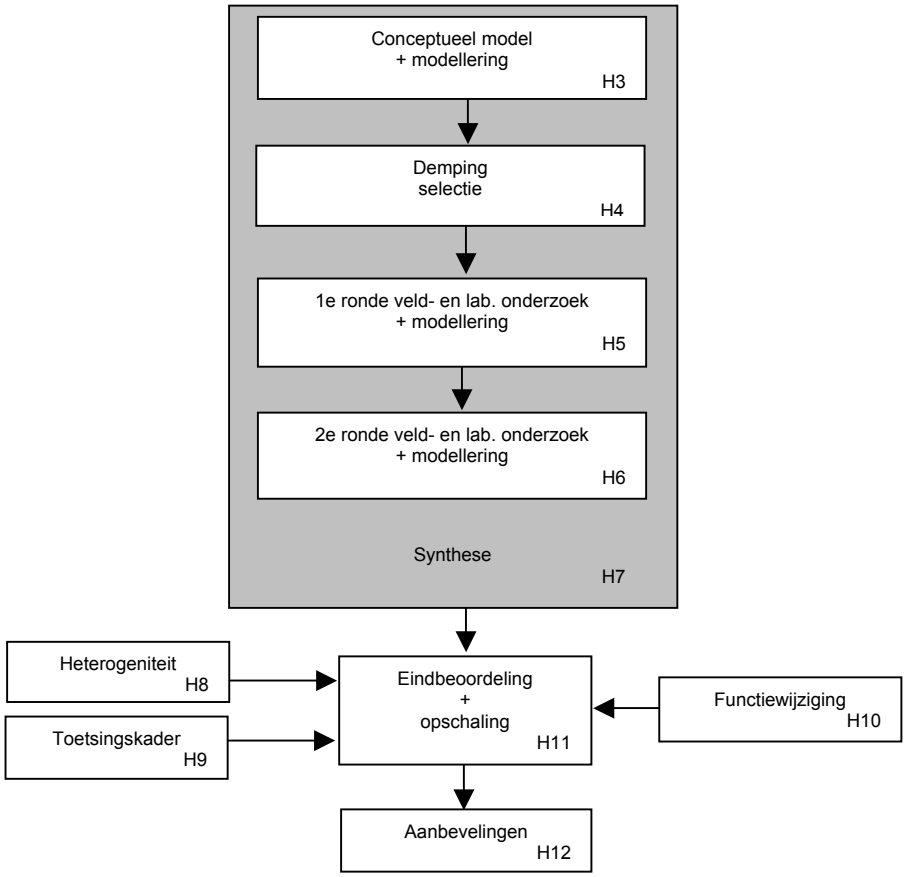
Conclusies
Uit de berekeningen voor de drie dempingen 561/148+208, 561/020+039 en 051-101/13 blijkt dat na 30 jaar:
- benzeen 0,3 tot 0,5 meter onder de demping is doorgedrongen en daar de S-waarde overschrijdt;
- xyleen 0,25 tot 0,3 meter onder de demping is doorgedrongen en daar de S-waarde overschrijdt;
- lood tot ver onder de demping is doorgedrongen, maar in zeer lage concentraties die ver beneden de S-waarde liggen;
- zink tot 0,3 meter onder de demping is doorgedrongen, maar met concentraties lager dan de S-waarde.

Geconcludeerd wordt dat op grond van de berekeningen eigenlijk geen doorslag van verontreinigingconcentraties (lood en zink) boven de S-waarde verwacht mag worden. Preferente stroming als oorzaak ligt niet voor de hand aangezien uit de berekeningen blijkt dat juist voor zware metalen preferente stroming een minimaal effect heeft, doordat de zware metalen sterke adsorptie ondergaan. Uit de rapporten blijkt wel dat de bemonsterde peilbuizen niet direct onder de demping geplaatst zijn, maar vaak stroomopwaarts en/of stroomafwaarts van de demping. De aangetroffen verontreinigingen kunnen mogelijk veroorzaakt zijn door andere bronnen in het grondwater (zo wordt bij een van de bodemonderzoeken vermeld dat bovenstrooms van de locatie een mestput is gelegen).

HOOFDSTUK 7

SYNTHESE

7.1 Algemeen



In dit hoofdstuk worden de belangrijkste resultaten van het onderzoek in onderlinge samenhang geëvalueerd. Achtereenvolgens wordt ingegaan op:
- het dempingmateriaal;
- de verspreiding van verontreinigingen uit het dempingmateriaal.

Wat betreft het dempingmateriaal is aandacht besteed aan de chemische samenstelling, de beschikbaarheid, optredende processen in het dempingmateriaal en de relatie tussen hydrologie/geologie en resultaten veld- en laboratoriumonderzoek.

Bij de verspreiding van verontreinigingen uit het dempingmateriaal worden de drie verspreidingsroutes besproken, waarbij de nadruk ligt op een vergelijking van de berekende en gemeten verspreiding.

7.2 **Het dempingmateriaal**

7.2.1 *Chemische samenstelling*

Op grond van de gemeten gehalten in grond en percolaat (ongefiltreerde grondwatermonsters uit gegraven gaten) uit de eerste ronde veldonderzoek is de samenstelling van het dempingmateriaal per dempingcategorie in grote lijnen beschreven in tabel 12 (Sterk: > I-waarde, Licht: > S-waarde).

Tabel 12. Chemische samenstelling van het dempingmateriaal.

Dempingmateriaal	Grond	Percolaat
Industrieel	- Sterk: cadmium, chroom, koper, lood, nikkel en zink - Licht: arseen en kwik	- Sterk: cadmium, chroom, koper, lood, nikkel, zink - Licht: arseen, benzeen, xylenen, naftaleen en minerale olie
Lompen	- Licht: cadmium, koper, nikkel, zink en kwik	- Sterk: chroom, lood, nikkel, zink - Licht: cadmium, koper, kwik, benzeen, xylenen, naftaleen, minerale olie en VOH-componenten
Bouw & sloop	- Sterk: koper, lood, zink - Licht: cadmium	- Sterk: lood, zink - Licht: arseen, cadmium, chroom, nikkel, benzeen, xylenen en naftaleen
Huishoudelijk	- Sterk: koper, lood, zink - Licht: arseen, cadmium, chroom, nikkel, kwik	- Sterk: lood, zink en minerale olie. - Licht: arseen, cadmium, chroom, koper en nikkel
Shredder	- Sterk: koper, lood, zink - Licht: nikkel, kwik	- Sterk: cadmium, chroom, koper, lood, nikkel, zink en minerale olie - Licht: benzeen, xylenen en naftaleen
Bagger	-	- Licht: arseen, chroom, lood en zink

De gemeten gehalten in de grond- en percolaatmonsters blijken redelijk goed overeen te komen. Let wel, de grondmonsters zijn alleen geanalyseerd op zware metalen, terwijl de percolaatmonsters zijn geanalyseerd op zware metalen, BTEXN, minerale olie, VOH en EOX. De analyseresultaten geven een goed inzicht in de chemische samenstelling van het dempingmateriaal.

Relatie tussen kwaliteit dempingmateriaal en grondwater in demping

Uit een vergelijking van de grond- en percolaatmonsters enerzijds en de gefiltreerde grondwatermonsters anderzijds blijkt dat met name de zware metalen die in het dempingmateriaal in hoge concentraties worden aangetroffen niet tot nauwelijks beschikbaar zijn voor het grondwater (hooguit S-waarde overschrijdingen). Chroom vormt hierop een uitzondering. Onder het kopje ‘Interactie van chroom met zijn natuurlijke omgeving’ wordt hier een nadere verklaring voor gegeven. Naast zware metalen wordt in het dempingmateriaal ook regelmatig minerale olie aangetroffen in hoge concentraties. Een deel hiervan is te verklaren vanuit het humusrijke materiaal, een deel zal afkomstig zijn uit de dempingen. Echter, ook de nalevering van minerale olie aan het grondwater blijkt minimaal te zijn. Verder is in één grondwatermonster EOX aangetroffen verhoogd ten opzichte van de detectielimiet (shredder).

Relatie met voorgaande onderzoeken

Uit een vergelijking van de analyseresultaten van dit onderzoek met die van voorgaande onderzoeken (zie de paragrafen 3.2.2 en 3.3.3) blijkt dat de chemische samenstelling van het dempingmateriaal redelijk goed overeenkomt wat betreft de zware metalen. In het algemeen worden de componenten in dezelfde verhoudingen aangetroffen. De destijds gemeten concentraties in het grondwater van de demping liggen meestal tussen de waarden die zijn gemeten bij de percolaatbemonstering en de eindbemonstering van het grondwater tijdens het verificatie-onderzoek.

Onduidelijk is hoe destijds de watermonstername heeft plaatsgevonden (wel/geen filtratie, wijze van filtratie). Ook de wachttijd na plaatsing van de peilbuis zou van invloed kunnen zijn op het analyseresultaat.

Bij de organische verbindingen, vooral BTEX, valt op dat de concentraties ten tijde van de voorgaande onderzoeken (periode 1984 – 1992) veelal hoger zijn dan tijdens het verificatie-onderzoek. Werden in het verleden op een aantal dempingen nog I-waarde overschrijdingen aangetroffen, tijdens het verificatie-onderzoek werd, zowel bij de percolaat- als grondwatermonsters nauwelijks meer BTEX aangetroffen (hooguit iets verhoogd ten opzichte van de S-waarde). Dit kan verklaard worden uit het feit dat de grondwaterstand in de dempingen nogal fluctueert (ervaringen veldonderzoek en Boland [1994], bevestigd door modelonderzoek), hetgeen gunstig is voor de afbraak van allerlei organische verbindingen (zie vervolg).

Verder worden de stoffen VOH en chloorbenzenen incidenteel aangetroffen in concentraties boven de detectiegrens of streefwaarden. Om die reden zijn deze stoffen verder niet meegenomen in het verificatie-onderzoek.

Intermezzo: Interactie van chroom met zijn natuurlijke omgeving

Chroom is toxisch en carcinogeen. Chroom wordt gebruikt in verf, roestvrij staal, corrosie remmers, printer inkt, fotografische film, etc. Chroom kan voorkomen in de vorm van Cr(VI) en Cr(III). Voor chroom geldt:

- Cr(VI) is de toxische vorm;
- Cr(VI) adsorbeert aan bodemmateriaal, maar in mindere mate dan Cr(III);
- Cr(VI) mineralen hebben een groter oplosbaarheidproduct dan Cr(III) mineralen voor de meest voorkomende bodem en aquifer pH en Eh waarde;
- De stabiele redox-staat van chroom is overwegend Cr(III).

In natuurlijk water met een pH van 6,5 tot 8,5 en onder een reducerende tot licht oxiderende redox potentiaal domineren de kationische en neutrale species van Cr(III) ($CrOH^+$, $Cr[OH]_2^+$ en $Cr[OH]_3^0$) met de vaste fase $Cr(OH)_3$ voor een groot pH en Eh gebied. Onder meer oxiderende condities zijn de Cr(VI) anionische species ($HcrO_4^-$ en CrO_4^{2-}) meer dominant.

James & Bartlett [1983] hebben vastgesteld dat Cr(III) complexen vormt met organische zuren en met opgelost organisch materiaal, waardoor de mobiliteit van chroom wordt vergroot. Deze organische zuren en opgelost organische materiaal zijn aanwezig in de bodem. Cr(III) vertoont een typisch kationisch sorptiegedrag. Adsorptie neemt toe bij toenemende pH.

Redox processen beïnvloeden de mobiliteit van chroom. Cr(VI) wordt gereduceerd tot Cr(III) wanneer er:

- Reactief organisch materiaal aanwezig is;
- Er Fe(II) reductie plaats vindt;
- Er opgeloste sulfiden aanwezig zijn.

De reductie van Cr(VI) naar Cr(III) neemt toe als de pH afneemt.

Onder typische sub-surface omstandigheden en licht gereduceerde Eh (<250mV) omstandigheden zal Cr(VI) gereduceerd worden tot Cr(III). Cr(III) zal neerslaan als slecht oplosbaar mineraal $Cr(OH)_3$. De reductiesnelheid is afhankelijk van de pH in de omgeving en de aanwezigheid van reductoren, zoals Fe(II) en sulfide.

Uit de tijdens de tweede ronde veldwerk gemeten macrochemie blijkt dat we te maken hebben met:

- sulfaatreducerende, danwel ijzerreducerende omstandigheden;
- een pH die ligt tussen de 6.5 en 7.4.

In dit geval zijn de kationische en neutrale species van Cr(III) dominant. Deze species adsorberen goed aan organische stof, maar ook aan opgelost organische stof, waardoor chroom meer mobiel wordt. Dit verklaart waarom we ‘hoge’ concentraties chroom in het grondwater aantreffen.

7.2.2 *Optredende processen in het dempingmateriaal*

Bij de uitvoering van het veldonderzoek in de dempingen wordt het milieu in het grondwater verstoord doordat zuurstof de bodem in dringt. Het milieu wordt oxisch. Om deze reden is besloten om na het plaatsen van de peilbuizen in de ontgravingsgaten een aanzienlijke wachttijd in acht te

nemen om het milieu in de demping naar zijn oorspronkelijke toestand terug te laten keren. Uit de tussentijdse bemonsteringen die hebben plaatsgevonden kan worden opgemaakt dat het milieu vrij snel na uitvoering van de werkzaamheden suboxisch en uiteindelijk anoxisch is geworden. Hierbij is nitraat gereduceerd, ontstond ammonium, namen de sulfaatconcentraties af en ontstond gereduceerd ijzer. Geconcludeerd wordt dat in de dempingen in het algemeen sprake is sulfaatreducerende of ijzerreducerende omstandigheden.

Via het onderzoek van Boland [1994] zijn op verschillende plaatsen in de Krimpenerwaard metingen beschikbaar van de macrochemische samenstelling van het ondiepe grondwater. Deze kunnen worden vergeleken met de metingen die zijn verricht in de dempingen. De belangrijkste verschillen zijn:

- De ammoniumgehalten in de dempingen zijn hoger dan, gelijk aan of lager dan de referentiegehalten. De hoeveelheid ammonium lijkt sterk samen te hangen met de hoeveelheid organisch stof (hoe meer organisch stof, hoe meer ammonium). Dit verband kan verklaard worden uit het feit dat het organisch-rijke dempingmateriaal vaak goed afbreekbaar is. Bij de afbraak van het materiaal wordt ammonium geproduceerd in het zuurstofarme milieu in de grond. Ammonium wordt ook van nature gevormd in de organisch-rijke veengronden in de Krimpenerwaard, maar op sommige plaatsen produceert het dempingmateriaal blijkbaar meer ammonium dan de omringende grond.
- Sulfaat is in bepaalde dempingen veel hoger dan de referentiegehalten, met name de dempingen met bouw- en sloopafval. Andere dempingen hebben sulfaatgehalten die gelijk zijn aan of lager dan de referentiegehalten. Dit kan duiden op de aanwezigheid van gips dat sulfaat nalevert aan het grondwater.
- Het bicarbonaatgehalte in vrijwel alle dempingen is hoger dan in het gebied eromheen. Dit kan wijzen op een verhoogde afbraak van organische stof in het dempingmateriaal, doordat deze organische stof relatief reactief is ten opzichte van het veen in de omgeving. Tevens kan kalkafval zorgen voor de nalevering van bicarbonaat. Nalevering vanuit het stortmateriaal kan ook de hogere calcium-, kalium- en magnesiumgehalten in de dempingen ten opzichte van de referentiegehalten verklaren.

7.2.3 *Relatie hydrologie/geologie en resultaten veld- en laboratoriumonderzoek*

Tijdens het veldonderzoek bleek dat relatief veel ontgravingsgaten droog stonden (uitvoering onderzoek juli/augustus 2001). Het grondwater op het midden van het perceel bevond zich dikwijls onder de onderzijde van de demping. De dempingen zijn in het algemeen relatief ondiep (1 tot 1,5 m-mv). Dit betekent dat veel dempingen jaarlijks droogvallen en weer verzadigd raken met water. Aangezien de dempingen er al tientallen jaren liggen is het de verwachting dat met name de vluchtige organische verbindingen worden afgebroken/vervluchtigen. Dit wordt bevestigd door het laboratoriumonderzoek.

Er is geen duidelijke relatie te leggen tussen de micro- en macrochemische samenstelling van het percolaat en de indeling op grond van hydrologie en geologie. Ook de verschillen in zuurgraad, geleidingsvermogen en temperatuur van het grondwater op de verschillende dempingen zijn niet onderscheidend.

7.3 **De verspreiding van verontreinigingen uit het dempingmateriaal**

De verspreiding van verontreinigingen uit het dempingmateriaal wordt voor elke route afzonderlijk behandeld. Tevens wordt aandacht besteed aan de relatie tussen referentie metingen en de waarnemingen voor chroom en zink en de relatie tussen de bodemopbouw en verspreiding.

7.3.1 *Verspreiding via route 1, kopse kanten*

Schatting op basis van berekeningen
In het uittredende grondwater kan gedurende langere tijd (> 100 jaren) sprake zijn van concentraties zware metalen > S-waarde, indien in de eerste circa 25 meter vanaf de kopse kant de verontreiniging homogeen verdeeld aanwezig is in de grond. Met name de situatie direct langs de kopse kant is maatgevend. Indien hier sprake is van verontreinigde grond kan nog jaren lang verontreinigd grondwater uittreden. Voor organische verbindingen is deze binding aan de grond veel minder relevant. De berekeningen geven aan dat uittreding plaatsvindt, maar door het periodiek droogvallen van de dempingen ('opdrogen' bron) en door uitspoeling zullen deze stoffen op termijn verdwijnen uit de demping. Voor benzeen is berekend dat binnen een termijn van 35 tot 60 jaar de concentraties onder de S-waarde zullen liggen. Voor xylenen ligt dit rond de 50 jaar.

Waargenomen tijdens veld- en laboratoriumonderzoek
Ter plaatse van de onderzochte kopse kanten worden hoge concentraties (> I-waarde) zware metalen in de grond aangetroffen (met name lood, zink, koper en nikkel). De concentratie chroom is beduidend lager. De gemeten concentraties in het grondwater voor genoemde metalen liggen echter vrijwel altijd onder de S-waarde. De concentratie chroom daarentegen overschrijdt juist zeer regelmatig de S-waarde. De gemeten grondwatergehalten voor koper en zink overschrijden echter wel structureel de MTR-waarde voor oppervlaktewater (chroom daarentegen juist weer niet, slechts incidenteel).
Incidenteel worden voor benzeen, xylenen en naftaleen concentraties gemeten die (iets) boven de S-waarde liggen (soms direct langs de kopse kant, soms op grotere afstand van de kopse kant).

Vergelijking berekeningen en metingen
Alhoewel er zware metalen aanwezig zijn aan de kopse kanten van de demping (ook binnen 1 meter vanaf de waterkant) is er nauwelijks sprake van het uittreden van verontreinigd grondwater. Blijkbaar is voldoende adsorptiecapaciteit aanwezig om de verontreinigingen in het grondwater te binden aan de grond, met uitzondering van chroom (zie intermezzo). Wat betreft de onderzochte organische verontreinigingen is de belangrijkste conclusie dat deze vrijwel niet worden aangetroffen aan de kopse kant. Een vergelijking tussen berekenings- en meetresultaten is dan ook nauwelijks te maken. De gemeten gehalten in de bron zijn veelal lager dan de laagste waarden aangenomen in de berekeningen (= 2*S-waarde). Een uittredend front, zoals berekend met de modellen, kon in het veld niet worden vastgesteld. De huidige, gemeten situatie is blijkbaar nog minder 'kritisch' dan de situatie met de meest minimale variant aangenomen in de berekeningen. De bronterm zal in het verleden hoger zijn geweest (zie analyse eerder uitgevoerde bodemonderzoeken). Blijkbaar verdwijnen de organische verbinden sneller dan verwacht. Processen als preferente stroming en het periodiek droogvallen van de dempingen hebben hier naar verwachting aan bijgedragen.

7.3.2 *Verspreiding via route 2, naar aangrenzend perceel*

Schatting op basis van berekeningen
In de berekeningen is, uitgaande van een sterke kwelsituatie en een gemiddelde bronterm (I-waarde in grondwater) berekend dat na circa 40 jaar de stoffen lood en zink nog nauwelijks verspreid zijn (minder dan 0,5 meter). Voor benzeen is een verspreiding tot circa 2 meter en voor xylenen tot circa 1 meter vanuit de demping voorspeld. Preferente stroming zou met name voor benzeen en in mindere mate voor xylenen effect hebben op de mate van verspreiding. Voor de zware metalen heeft dit nauwelijks effect.

Waargenomen tijdens veld- en laboratoriumonderzoek
Op de onderzochte locaties zijn in twee gevallen geen verontreinigingen in de grond aangetroffen naast de dempingen. Op één locatie (demping 2033) is direct naast de demping (tot 0,5 meter) sprake van een S-waarde overschrijding voor nikkel en zink, waarbij de zinkverontreiniging 'substantieel' is. In deze demping zijn de gehalten zeer hoog. Op een andere locatie (demping 2062) is sprake van een verontreiniging met nikkel boven de S-waarde tot op 5 meter van de demping. De concentraties op grotere afstand van de demping nemen eerst af, maar vervolgens weer toe. Naast alle dempingen wordt in het grondwater chroom aangetroffen in gehalten > S-waarde. Soms pas op grotere afstanden van de demping (3 tot 5 meter). De gehalten BTEXN lagen in alle gevallen beneden de detectiegrens.

Vergelijking berekeningen en metingen
De waargenomen verspreiding is vergelijkbaar met of minder dan de voorspelde verspreiding. Lood en zink worden vrijwel niet aangetroffen, BTEXN in het geheel niet. De in de modelberekeningen gehanteerde bronterm voor BTEXN (I-waarde) is blijkbaar te hoog, alhoewel deze concentraties in het verleden mogelijk wel aanwezig geweest zijn en de 'sporen' hiervan meetbaar zouden kunnen zijn. De 'hoge' zinkgehalten naast demping 2033 zijn mogelijk te verklaren uit het feit dat de bronterm hier veel hoger is dan aangenomen in het model (concentraties in demping tot 60*I). Uit een herberekening van deze situatie met hoge bronterm blijkt de hoge bronconcentratie de hoge zinkgehalten niet te verklaren. De verhoogde nikkelgehalten in de grond ter plaatse van demping 2062 zijn opmerkelijk en vanuit de modelberekeningen niet te verklaren.

7.3.3 *Verspreiding via route 3, naar het watervoerend pakket*

Schatting op basis van berekeningen
Bij de situatie ongestoord profiel, sterke infiltratiesituatie en gemiddelde bronterm wordt berekend dat na circa 40 jaar de stoffen lood en zink nog nauwelijks verspreid zijn (minder dan 0,5 meter). Voor benzeen en xylenen is een verspreiding tot respectievelijk circa 1 en 0,5 meter vanuit de demping berekend. Preferente stroming zou met name voor benzeen en in mindere mate voor xylenen effect hebben op de mate van verspreiding. Voor de zware metalen heeft dit nauwelijks effect.

Bij een bodemprofiel met een ondiepe geul in plaats van een ongestoord profiel neemt met name de verspreiding van benzeen toe, waarbij gedeeltelijke doorslag naar de geul plaatsvindt. Voor xyleen geldt in dit geval een verspreiding tot circa 1 meter. Voor lood en zink is de situatie nauwelijks verschillend met die van een ongestoord profiel. Bij preferente stroming vindt ook doorslag plaats van xylenen naar de geul. De verspreiding van lood en zink neemt iets toe, maar blijft beperkt tot 0,5 meter.

Waargenomen tijdens veld- en laboratoriumonderzoek
Tijdens het veldonderzoek zijn tot op een diepte van 6 à 7 m-mv geen (ondiepe) geulen aangetroffen. Onder de dempingen worden in de grond voor verschillende zware metalen regelmatig ten opzichte van de S-waarde verhoogde concentraties aangetroffen (diepte 0,5 tot 1,8 m-onderzijde demping). Bij de dempingen 2033 en 2212 worden zinkconcentraties tot boven de I-waarde aangetroffen (tot maximaal 0,8 m-onderzijde demping).

In het grondwater onder de dempingen zijn incidenteel S-waarde overschrijdingen aangetroffen voor chroom, koper, lood of zink. Meestal betreft dit de waarneming in het ondiepe filter (1,5 tot 1,8 m-onderzijde demping). Op twee plaatsen (2033 en 2212) worden ook in de diepe filters (4,5 m-onderzijde demping) S-waarde overschrijdingen aangetroffen, waarbij sprake is van afnemende concentratie naar de diepte toe. Overschrijdingen van de T- of I-waarde zijn niet aangetroffen.

Verder wordt in het grondwater incidenteel benzeen of naftaleen aangetroffen in concentraties (iets) boven de S-waarde. Bij benzeen gaat het in alle gevallen om het ondiepe filter. Bij naftaleen gaat het in twee van de gevallen om het diepe filter, terwijl in het ondiepe filter de concentratie beneden de detectiegrens ligt.

Vergelijking berekeningen en metingen
De in het veld gemeten verspreiding van zware metalen is incidenteel groter dan volgt uit de berekeningen. Het gaat hierbij om chroom (een stof waarvan ook bij de andere routes de S-waarde vaak wordt overschreden) of zink (waarbij in dat geval sprake is van een zeer hoge bronterm). Uit de herberekening van de laatstgenoemde situatie (demping 2033) blijkt dat het hoge zinkgehalte niet veroorzaakt wordt door de zeer hoge bronterm.
De waarnemingen voor benzeen komen redelijk goed overeen met de berekende waarden, uitgaande van een bronconcentratie gelijk aan de I-waarde. Deze waarden worden echter nu niet meer aangetroffen in de bron. De waarnemingen van naftaleen zijn opmerkelijk (diepe filters wel, ondiepe filters geen verontreinigingen). De waarnemingen zouden kunnen duiden op een uitgewerkte bron, waarvan de ‘staart’ van de verontreiniging op grote diepte is aangekomen. Dit ligt niet voor de hand aangezien in de dempingen nog steeds naftaleen wordt aangetroffen en de verspreiding van naftaleen minder snel verloopt dan van benzeen. De referenties geven geen aanwijzingen voor verhoogde achtergrondwaarden. Mogelijk dat tijdens het boren contaminatie is opgetreden.

7.3.4 *Referentiemetingen in relatie tot waarnemingen chroom en zink*
De referentiemetingen geven aan dat chroom in het algemeen onder de detectiegrens ligt. Bij het veldonderzoek wordt chroom vaak aangetroffen in concentraties > S-waarde. Beïnvloeding vanuit de dempingen lijkt dus aannemelijk. Vanuit de stofeigenschappen van chroom is dit verspreidingsgedrag te verklaren. Bij zink valt op dat de gemeten zinkgehalten over het algemeen ruim onder de S-waarde liggen op twee uitzonderingen na. De betreffende referentiepeilbuizen liggen echter op grote afstand van demping 2033, waar tot op grotere diepte verhoogde zinkgehalten zijn gemeten, zodat een verband tussen de gemeten waarden niet voor de hand ligt. Bovendien is de samenstelling van demping 2033 dusdanig dat een verband mag worden gelegd met de geconstateerde verspreiding.

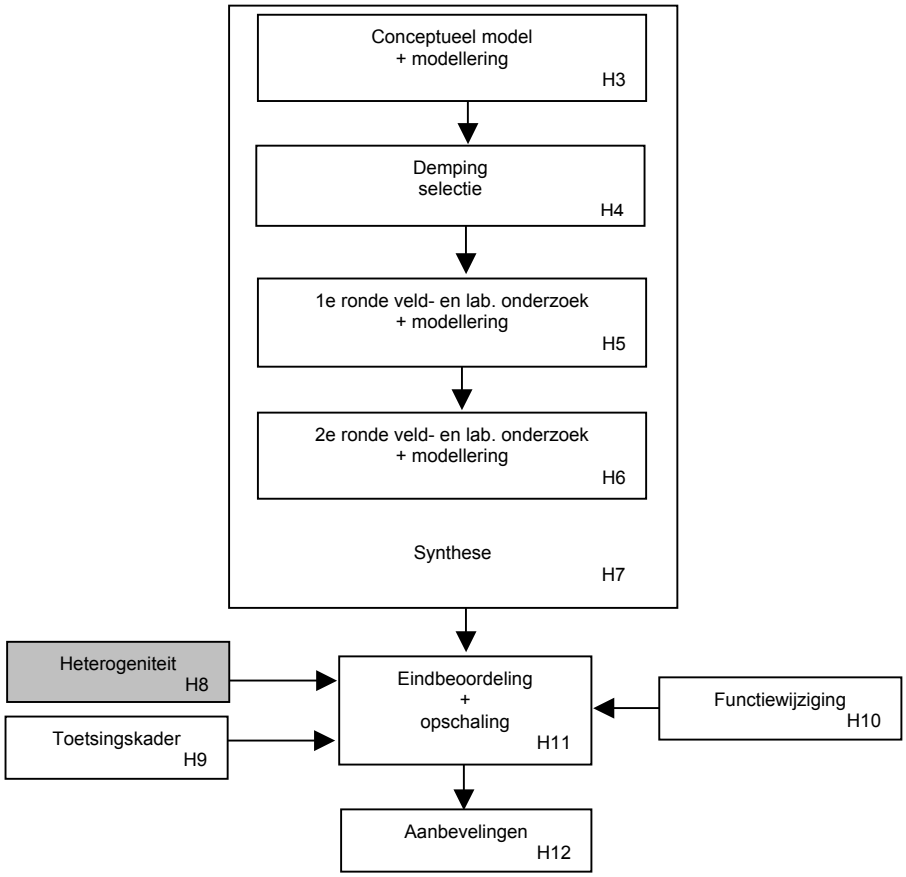
7.3.5 *Relatie tussen verspreiding en bodemopbouw*
Zoals aangegeven konden de ondiepe geulen tijdens het veldonderzoek niet worden vastgesteld. De uitkomsten van het veldonderzoek gelden dus vooral voor die situaties waarbij dempingen op een ongestoord profiel liggen, danwel op een diepe geul. Dit betreft het overgrote deel van de dempingen.
Om de verspreiding in relatie tot ondiepe geulen nader te beschouwen zijn eerder uitgevoerde analyseresultaten van drie dempingen gelegen op (ondiepe) geulen in verband gebracht met modelberekeningen.

In het diepe grondwater onder deze drie dempingen zijn verontreinigingen aangetroffen boven de S-waarde en soms zelfs boven de I-waarde. De modelberekeningen voor deze dempingen geven geen verklaring voor het aantreffen van deze verontreinigingen. De verontreinigingen zijn mogelijk door andere bronnen veroorzaakt.

HOOFDSTUK 8

HETEROGENITEIT

8.1 Algemeen



De term ‘heterogeniteit’ omsluit de variatie in (i) de plaats, (ii) de variatie in de tijd en (iii) de onzekerheid ten aanzien van metingen, parameterwaarde, etc. Deze vormen van ‘heterogeniteit’ hebben een effect op de uitspraken die we doen ten aanzien van verspreiding van verontreinigingen uit de dempingen in de Krimpenerwaard. In bijlage H is beschreven hoe deze drie vormen van ‘heterogeniteit’ zijn meegenomen in het onderzoek.

In dit hoofdstuk wordt met name het effect van ruimtelijke variabiliteit op de verspreiding van verontreinigingen besproken (i). De temporele variabiliteit (ii) is reeds besproken in hoofdstuk 5 en de onzekerheid ten aanzien van metingen, parameters, etc. (iii) is meegenomen met behulp van gevoeligheidsanalyses. De gevoeligheidsanalyses zijn terug te vinden in bijlagen D en H.

Ruimtelijke variabiliteit komt in verschillende onderdelen naar voren, te weten:
- Verontreiniging in de demping;
- Opbouw in de demping;
- Bodemopbouw in de omgeving van de demping.

8.2 Verontreiniging in de demping

Uit de eerste ronde veld- en laboratoriumonderzoek blijkt dat de bron van verontreiniging niet homogeen verdeeld is over de demping. Er zijn gebieden in de demping waar bijna geen verontreinigingen worden aangetroffen. Dit kan een groot effect hebben op de verspreiding van verontreinigingen via de demping naar de kopse kant. Het effect van een ruimtelijke bronterm is bepaald door verschillende scenario's, weergegeven in figuur 20, door te rekenen:

- de gehele demping bevat verontreiniging (homogeen);
- een deel van de demping bevat verontreiniging en dit deel kan zich op verschillende plaatsen in de demping bevinden, respectievelijk 5 tot 15 meter vanaf de kopse kant.

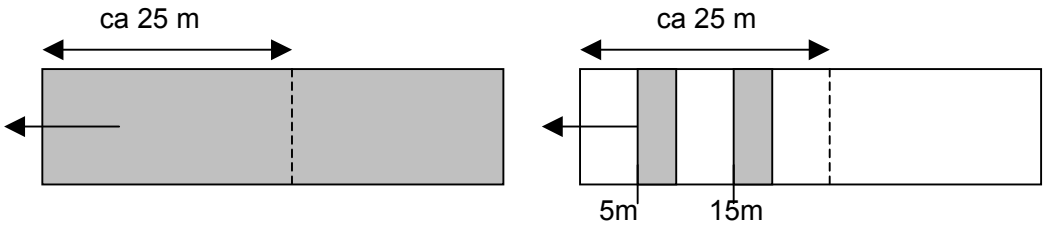


Fig. 20. Scenario's ruimtelijke bronterm.

Conclusies

De resultaten laten zien dat er voor benzeen relatief weinig verschil is tussen het worst-case scenario (verontreiniging homogeen verdeeld over de demping) en de ruimtelijk variabele scenario's. Dit wordt veroorzaakt doordat benzeen relatief mobiel is, waardoor benzeen na 40 jaar bijna volledig is uitgespoeld. Xyleen vormt in de ruimtelijk variabele scenario's een puls die zich door de kopse kant van de demping heen beweegt. De tijdsduur waarin xyleen in hoge concentraties uitstroomt is door de pulsvorming in de ruimtelijk variabele scenario's veel kleiner dan in het homogene scenario. Voor lood en zink vindt er in de worst-case een continue uitstroom plaats, terwijl er in de ruimtelijk variabele scenario's geen uitstroom plaatsvindt, doordat er delen van de demping schoon zijn waar sterke adsorptie van lood en zink plaatsvindt.

8.3 Opbouw in de demping

Uit het veldonderzoek blijkt dat de fysische eigenschappen, zoals de doorlatendheid, in de demping van plaats tot plaats variëren. Om het effect van deze ruimtelijke variabiliteit te bepalen is de stochastische methode van Dagan & Cvetkovic [1996] toegepast.

Conclusies

De resultaten voor route 1 laten zien dat de ruimtelijke variabiliteit van de doorlatendheid in de demping een groot effect heeft op de spreiding in de doorbraakcurve aan de kopse kant van de demping. In de homogene situatie duurt het 40 jaar voordat de concentratie aan de kopse kant kleiner wordt dan de bronconcentratie, terwijl dit in de heterogene situatie al na 20 jaar plaatsvindt. Heterogeniteit resulteert bovendien in een langer durende uitstroom van benzeen (80 jaar in plaats van 40 jaar). Voor xyleen, lood en zink zijn geen berekeningen uitgevoerd, maar op basis van ervaring verwachten we minder extreme resultaten, omdat deze verontreinigingen minder mobiel zijn, waardoor heterogeniteit minder effect heeft.

8.4 Bodemopbouw in de omgeving van de demping

Ruimtelijke variabiliteit

Het is bekend dat de ruimtelijke variabiliteit in de fysische eigenschappen invloed heeft op de spreiding van de verontreinigingen. Voor dempingen op een donk vinden we maar één bodemty-

pe tussen demping en watervoerend pakket. Voor dit geval is de stochastische methode van Dagan en Cvetkovic [1996] toegepast.

Conclusies
De resultaten laten zien dat de ruimtelijke variabiliteit van de doorlatendheid in de donk een groot effect heeft op de doorslag van benzeen naar het watervoerend pakket. Vergelijken we het doorslagmoment in de heterogene situatie met die van de homogene situatie dan blijkt dat in de heterogene situatie benzeen twee maal zo snel doorslaat, terwijl de periode waarin benzeen volledig doorslaat twee maal zo lang duurt. Voor xyleen, lood en zink zijn geen berekeningen uitgevoerd, maar op basis van ervaring verwachten we minder extreme resultaten, omdat deze verontreinigingen minder mobiel zijn waardoor heterogeniteit minder effect heeft.

Preferente stroming
Naast de ruimtelijke variabiliteit in de verschillende lagen kan er ook preferente stroming optreden. Het effect van preferente stroming is beschreven in de beschouwing 'Preferente stroming in de Krimpenerwaard'. Deze beschouwing is opgenomen in bijlage I. In literatuur wordt aangegeven dat preferente kanalen voor een snellere verspreiding van verontreinigingen kunnen zorgen. Door de preferente kanalen wordt maar een beperkt deel van de demping, perceel en ondergrond doorstroomd, waardoor de transportsnelheid hoger wordt. Hierdoor wordt de contacttijd tussen verontreiniging en bodemdeeltjes kleiner, waardoor adsorptie kan afnemen.

Voor een aantal representatieve situaties zijn voor de routes 2 en 3 berekeningen uitgevoerd, waarbij gekeken is naar het effect van preferente stroming op de verspreiding van verontreinigingen. De resultaten zijn weergegeven in bijlage J. Op grond van de resultaten wordt het volgende geconcludeerd:
- Preferente stroming heeft weinig invloed op de verspreiding van lood en zink.
- Benzeen verplaatst zich onder invloed van preferente stroming verder het aangrenzende perceel in, circa 10 meter in plaats van 1 tot 2 meter.
- Xyleen verplaatst zich onder invloed van preferente stroming verder het aangrenzend perceel in, maar door de natuurlijke afbraak wordt dit enigszins beperkt, circa 2 tot 4 meter in plaats van 0 tot 1 meter.
- Door preferente stroming neemt met name de verspreiding van benzeen in verticale richting toe, tot circa 3 à 4 meter in plaats van minder dan 1 meter. Voor xylenen vindt verspreiding plaats tot circa 1 meter in plaats van minder dan 0,5 meter. De indringing van xylenen wordt in vergelijking met benzeen enigszins beperkt door natuurlijke afbraak.
- Bij preferente stroming en een ondiepe geul slaat benzeen binnen 50 jaar volledig door en begint xyleen ook door te slaan.

8.5 Conclusies

Uit de studie naar het effect van ruimtelijke variabiliteit kunnen de volgende conclusies getrokken worden:
- Een ruimtelijk variabele bronterm heeft vooral een groot effect op de verspreiding van de verontreinigingen lood en zink. Doordat er in de heterogene situatie gebieden in de demping aanwezig zijn die initieel schoon zijn kan er opgelost lood en zink adsorberen. Deze adsorptie is zo sterk dat lood en zink zich bijna niet verspreiden.
- Een doorlatendheid die (zowel in de demping als in de bodemlagen in de omgeving van de demping) van plaats tot plaats varieert, resulteert in een spreiding in de doorbraakcurve bij het oppervlaktewater (route 2), danwel het watervoerend pakket (route 3). Benzeen bereikt in de heterogene situatie twee maal zo snel het oppervlaktewater, danwel het watervoerend pakket. De uitspoeling duurt bovendien twee maal zo lang. Voor xyleen, lood en zink verwachten we minder extreme beïnvloeding (factor kleiner dan twee), doordat deze verontrei-

nigingen zich minder snel door de bodem bewegen, waardoor heterogeniteit minder effect heeft.
- Preferente stroming resulteert voor benzeen in een maximaal 5 maal zo grote verspreiding (benzeen is 5 maal verder het aangrenzende perceel ingedrongen). Voor xyleen hebben we te maken met een factor 2 in plaats van 5, doordat xyleen minder mobiel is dan benzeen en heterogeniteit minder effect heeft.

8.6 **Discussie**

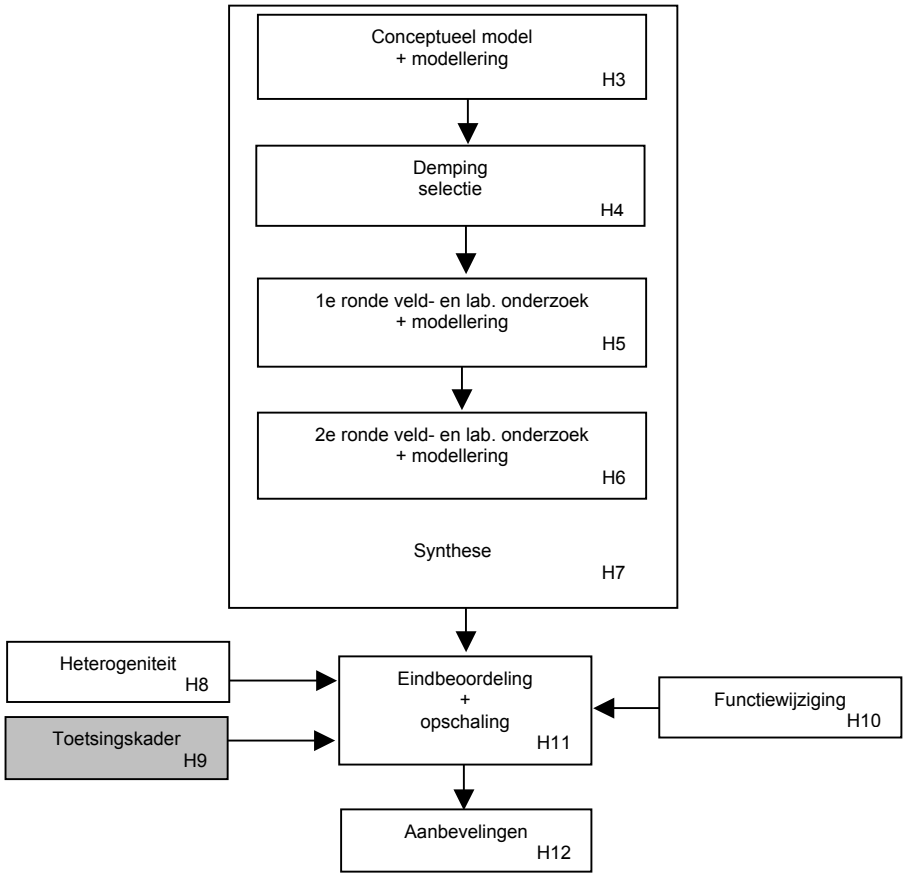
De resultaten verkregen in de stoftransportberekeningen waarin wordt uitgegaan van een homogene situatie, kunnen worden beïnvloed door ruimtelijke variabiliteit. In het meest extreme geval moeten de resultaten voor benzeen vermenigvuldigd worden met een factor 5 (preferente stroming). Voor xyleen geldt maximaal een factor twee. Uit de studie blijkt dat ruimtelijke variabiliteit bijna geen effect heeft op de verspreiding van lood en zink, doordat lood en zink zich maar weinig verspreiden in de homogene situatie.

Vergelijken we de resultaten van de tweede ronde veld- en laboratoriumwerk met de resultaten van de modellering dan zien we dat lood en zink zich verder verspreid hebben dan blijkt uit de homogene berekeningen. Deze verspreiding kan niet verklaard worden door de heterogeniteit in de bodem. De heterogeniteitberekeningen laten namelijk zien dat heterogeniteit vooral effect heeft op verontreinigingen die mobiel zijn, zoals benzeen en xyleen. Voor de meer immobiele verontreinigingen blijkt het effect van heterogeniteit op de verspreiding minimaal.

HOOFDSTUK 9

TOETSINGSKADER

9.1 Algemeen



Op het moment dat de verontreinigingen het oppervlaktewater, danwel het grondwater bereiken dient zich de vraag aan wanneer sprake is van een ontoelaatbare situatie. In het bodembeheerplan zijn toetsingscriteria vastgelegd voor grond en oppervlaktewater, te weten de MTR-waarden voor oppervlaktewater en streefwaarde, danwel huidige kwaliteit voor het diepe grondwater (respectievelijk voor waterwingebieden en daarbuiten). In dit hoofdstuk wordt aan de hand van de resultaten van het onderzoek en met als 'decor' bovengenoemde toetsingscriteria een discussie opgezet over het toetsingskader. Per verspreidingsroute komen de volgende onderdelen aan de orde:

1. Toetsingswaarden voor relevante verontreinigende stoffen.
2. (Verhoogde) achtergrondgehalten van oppervlaktewater, waterbodem en grondwater.
3. Potenties voor afbraak van organische verontreinigingen in grond- en oppervlaktewater.
4. Toetsing van de resultaten van het onderzoek aan bovengenoemde punten.

Tenslotte wordt, om de discussie over het toetsingskader verder vorm te geven een alternatief toetsingskader voor route 1 besproken, waarbij wordt uitgegaan van een vrachtbenadering.

9.2 Verspreiding via route 1: naar oppervlaktewater via kopse kanten

Toetsingswaarden oppervlaktewater

De MTR-waarden voor oppervlaktewater zijn weergegeven in tabel 13 (Vierde nota waterhuishouding, 1998 [Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1998]). Bij de MTR-waarden wordt onderscheid gemaakt tussen 'opgelost' en 'totaal'. Bij 'totaal' wordt naast de verontreiniging die in oplossing is ook rekening gehouden met de verontreiniging die gebonden is aan vaste deeltjes. In tabel 13 is uitgegaan van MTR-opgelost. Voor die stoffen waarvoor geen MTR-waarde beschikbaar is, is de streefwaarde voor grondwater aangehouden.

Tabel 13. MTR-waarden oppervlaktewater en aantal overschrijdingen ter plaatse van dempingen.

Stof	MTR1) (µg/l)	Totaal aantal dempingen met overschrijding (maximaal 10)	Waarvan ter plaatse van kopse kant demping (maximaal 4)
Arseen	25	0	Niet onderzocht
Cadmium	0,4	0	Niet onderzocht
Chroom	8,7	3	1
Koper	1,5	5	4
Lood	11	0	0
Nikkel	5,1	3	2
Zink	9,4	7	4
Kwik	0,02	0	Niet onderzocht
Benzeen	- (0,2)	2	1
Tolueen	- (7,0)	0	0
Ethylbenzeen	- (4,0)	0	0
Xylenen	- (0,2)	3	1
Naftaleen	1,2	3	1

1) betreft MTR opgelost
- geen MTR-waarde afgeleid. Hier is de streefwaarde voor grondwater aangehouden als toetsingswaarde (..)

In totaal zijn van 10 dempingen analyseresultaten beschikbaar van het grondwater op het midden van de dempingen. Op 4 van deze dempingen zijn analyseresultaten beschikbaar ter plaatse van de kopse kanten.

Achtergrond oppervlaktewater- en waterbodemkwaliteit

In het onderzoek Diffuse bronnen Zuid-Holland [IWACO, 2001] is voor een aantal stoffen in het oppervlaktewater de huidige achtergrondkwaliteit in beeld gebracht. In tabel 14 zijn de relevante resultaten samengevat. Gelet op het type monster (oppervlaktewater) zijn de resultaten van deze analyses getoetst aan de normen voor MTR-totaal.

Tabel 14. Gemiddelde concentratie zware metalen in het oppervlaktewater.

Stof	Concentatie (µg/l)	Over-/onderscheiding MTR1)
Koper	3,8 – 7,6	≤ 2 * MTR
Zink	12 – 40	≤ MTR
	40 – 80	≤ 2 * MTR
Nikkel	6,3 – 12,6	≤ 2 * MTR
Lood	5,3 – 220	≤ MTR
Kwik	Onvoldoende gegevens	
Cadmium	≤ 0,4	≤ streefwaarde

1) betreft MTR totaal

Naast gegevens over de oppervlaktewaterkwaliteit zijn gegevens beschikbaar over de kwaliteit van de waterbodem in de Krimpenerwaard. Adviesbureau de Straat [2001] heeft in opdracht van de Stichting Bodembeheer Krimpenerwaard een Bodemkwaliteitskaart opgesteld voor de land- en waterbodem. Als belangrijke invloeden op de waterbodemkwaliteit worden genoemd de inlaat van verontreinigd rivierwater, alsmede een groot aantal riooloverstorten in het gebied. Daarnaast spelen verschillen in dimensies van watergangen en baggerregimes een rol. In de studie wordt geconcludeerd dat met name koper, lood en zink (> streefwaarde voor grond) en PAK (> streef-, danwel tussenwaarde voor grond) bijdragen aan de verontreiniging van de waterbodem.

Procesomstandigheden oppervlaktewater
De procesomstandigheden zijn vooral van belang in verband met de eventuele afbraak van organische verbindingen. Zware metalen die uitstromen vanuit de dempingen zullen afhankelijk van de omstandigheden in oplossing blijven of worden vastgelegd in de waterbodem. In de dempingen zijn de condities in het algemeen anaëroob. Ook aan de kopse kanten van de dempingen worden deze condities aangetroffen. Er is sprake van een ijzer- of sulfaatreducerend milieu. Deze omstandigheden zijn gunstig voor de afbraak van stoffen, zoals tolueen, ethylbenzeen en xylenen. In het oppervlaktewater is naar verwachting sprake van aërobe omstandigheden. Stoffen als benzeen en naftaleen kunnen onder deze omstandigheden goed worden afgebroken.

Toetsing
Uit tabel 13 blijkt dat met name de stoffen koper en zink regelmatig de MTR-waarde (opgelost) voor oppervlaktewater overschrijden. In mindere mate geldt dit voor nikkel, chroom, benzeen, xylenen en naftaleen. De overige stoffen geven geen overschrijdingen te zien.

Uit tabel 14 blijkt dat de stoffen koper, nikkel en zink in het oppervlaktewater van de Krimpenerwaard in verhoogde achtergrondgehalten aanwezig zijn (tot 2*MTR-waarde). Uit een vergelijking van de beschikbare metingen in het grondwater in de dempingen met de in tabel 14 vermelde achtergrondgehalten valt te concluderen dat op een aantal dempingen de concentratie nikkel en zink (3 dempingen) en koper (1 demping) verhoogd is ten opzichte van deze achtergrondgehalten.

Geconcludeerd wordt dat voor enkele zware metalen de waterkwaliteitseisen (MTR-opgelost) in een (beperkt) aantal gevallen worden overschreden, ook als wordt uitgegaan van de verhoogde achtergrondgehalten in het oppervlaktewater (tot 2*MTR-totaal). Voor organische verbindingen is slechts incidenteel sprake van, ten opzichte van de streefwaarde voor grondwater, verhoogde concentraties. Op grond van de toetsingscriteria, zoals gesteld in het bodembeheerplan, zou daarom de standaardmaatregel ‘afdichting kopse kanten’ moeten worden toegepast. In paragraaf 9.5 wordt deze conclusie nog genuanceerd.

9.3 Verspreiding via route 2: naar oppervlaktewater via aangrenzende percelen

Toetsingswaarden grond- en oppervlaktewater
Voor deze route gelden de toetsingswaarden voor oppervlaktewater, zoals genoemd in tabel 13. Echter, de situatie kan zich voordoen dat de toetsingswaarden voor oppervlaktewater niet worden overschreden, maar dat wel de percelen die grenzen aan de slootdemping verontreinigd raken (‘opladen’ bodem met verontreinigingen). Hiervoor zijn geen criteria vastgelegd in het bodembeheerplan. In het bodembeheerplan wordt alleen vermeld dat verwacht wordt dat bij verdacht dempingmateriaal de I-waarden in het grondwater (in en rond de demping) worden overschreden.

Achtergrond oppervlaktewater-, waterbodem- en grondwaterkwaliteit
Voor het oppervlaktewater geldt met betrekking tot de achtergrondwaarden hetzelfde als voor route 1, zoals vermeld in tabel 14. Voor het freatische grondwater zijn in verband met het beoordelen van de verspreiding van 7 TNO/NITG-buizen verspreid over de Krimpenerwaard referenties verzameld. Voor de ligging van deze peilbuizen wordt verwezen naar kaart 8. De resultaten van de analyses zijn opgenomen in bijlage G (tabel 5). Met uitzondering van zink (2x) en chroom (1x) lagen de gemeten concentraties onder de streefwaarden.

Procesomstandigheden grond- en oppervlaktewater
Voor de procesomstandigheden van het oppervlaktewater wordt verwezen naar paragraaf 9.2. Op grond van de macrochemische analyses van het grondwater in de omgeving van de dempingen is geconcludeerd dat hier, evenals aan de kopse zijden van de dempingen, sprake is van anaërobe omstandigheden, waarbij sprake is van een ijzer- tot sulfaatreducerend milieu. De condities voor afbraak van stoffen, zoals ethylbenzeen, tolueen en xylenen zijn hiermee gunstig. Benzeen en naftaleen zullen onder deze omstandigheden niet tot nauwelijks worden afgebroken. Echter wel in het zuurstofrijke oppervlaktewatersysteem.

Toetsing
De modelberekeningen geven voor zware metalen aan dat overschrijding van de toetsingswaarden in het aangrenzende oppervlaktewater niet valt te verwachten. Voor stoffen als benzeen en xylenen valt op termijn (in theorie) wel doorslag te verwachten, waarbij voor benzeen de streefwaarde zou kunnen worden overschreden. In het veld is vrijwel geen verspreiding via route 2 vastgesteld. De gemeten concentraties zware metalen in de grond liggen vrijwel altijd onder de S-waarde. In het grondwater worden, met uitzondering van chroom, vrijwel geen verhoogde gehalten gemeten. Ook voor organische verbindingen, zoals benzeen en xylenen geldt dat vrijwel geen verhoogde gehalten zijn aangetroffen. Aangezien de bronconcentratie in de dempingen relatief laag is (beperkte beschikbaarheid van verontreinigingen voor verspreiding via grondwater) en voor de organische verontreinigingen sprake is van een ‘opdrogende’ bron worden geen overschrijdingen van de toetsingswaarden in het aangrenzende oppervlaktewater verwacht.

9.4 Verspreiding via route 3: naar diepe grondwater

Toetsingswaarden grondwater
Voor het grondwater in het watervoerend pakket gelden voor de waterwingebieden de streefwaarden en voor de overige gebieden lokale achtergrondwaarden (zie vervolg). De waterwingebieden liggen in het zuiden van de Krimpenerwaard langs de Lek (winningen Lekkerkerk en Bergambacht). Uit de kaarten 5a en 5b valt de ligging van de winningen goed op te maken.

Achtergrond grondwaterkwaliteit
Er zijn gegevens verzameld van het waterleidingbedrijf Hydron (met name metingen rond de winningen) en van het provinciale meetnet van Zuid-Holland [Jeths, 1993].

De verzamelde gegevens van Hydron betreffen metingen van de afgelopen 10 jaar van onder meer de componenten BTEX, VOH, PAK (som), naftaleen, chloorbenzenen, fenol-index, minerale olie, zware metalen en cyanide-totaal. Op grond van het aantal beschikbare metingen kan met name iets worden gezegd over de stoffen BTEX, zink en fenol-index:
- De concentraties benzeen, tolueen en ethylbenzeen bevinden zich in het algemeen onder de streefwaarde. Benzeen overschrijdt incidenteel de S-waarde.
- De concentratie xylenen is regelmatig verhoogd ten opzichte van de S-waarde (ruim 20% van de circa 175 waarnemingen).
- De concentratie zink ligt onder de S-waarde (maxima variërend tussen de 7 en 20 µg/l).
- De concentratie fenol-index ligt vrijwel altijd boven de S-waarde (maximaal 0,5 µg/l).

In de Krimpenerwaard liggen verder 4 meetpunten die onderdeel uitmaken van het provinciale meetnet met filters in de top en aan de onderzijde van het watervoerend pakket. De meetpunten liggen in het midden of noorden van de Krimpenerwaard. Jaarlijks wordt het grondwater geanalyseerd op een aantal macrochemische parameters en een aantal zware metalen. Organische microverontreinigingen worden niet geanalyseerd. De metingen in de afgelopen 10 jaar laten het volgende beeld zien:

- de stoffen chroom, nikkel, koper, lood en cadmium komen in het algemeen voor in concentraties onder of net iets boven de detectiegrens;
- de stoffen zink en arseen worden regelmatig in concentraties boven de streefwaarde aangetroffen (zink maximaal 65 tot 90 µg/l, arseen maximaal 10 tot 16 µg/l), met name in de meetpunten langs de Hollandsche IJssel en de Vlist.

Procesomstandigheden diepe grondwater

Uit de gegevens van het landelijke meetnet blijkt dat de ijzer- en ammoniumgehalten in het grondwater van het watervoerend pakket variëren tussen respectievelijk 20-30 en 15-35 mg/l. De gemeten waarden zijn vergelijkbaar met of hoger dan de waarden gemeten in en rond de dempingen. De gemeten concentraties nitraat en sulfaat in het grondwater van het watervoerend pakket liggen soms onder de detectiegrens en soms erboven (nitraat maximaal 0,9 mg/l; sulfaat maximaal 3,5 mg/l). De concentratie nitraat in het watervoerend pakket is veelal hoger dan in/rond de dempingen, de concentratie sulfaat daarentegen veelal lager dan in/rond de dempingen. De hogere sulfaatgehalten in/rond de demping zijn te verklaren uit de aard en samenstelling van het dempingmateriaal (gips). De hogere nitraatgehalten in het watervoerend pakket worden naar verwachting veroorzaakt door de uitspoeling van meststoffen. In de deklaag wordt dit nitraat gereduceerd door de aanwezigheid van organisch materiaal. In het watervoerend pakket ontbreekt dit organisch stof, zodat het nitraat aanwezig blijft in oplossing. De aanwezigheid van nitraat in het grondwater van het watervoerend pakket wil dus niet zeggen dat er sprake is van aërobe omstandigheden.

In het onderzoek van Boland [1994] wordt aangegeven dat in de Krimpenerwaard sprake is van twee typen diep grondwater. Kwel vanuit de Lek bepaald de grondwaterkwaliteit in het zuiden van de Krimpenerwaard met relatief lage nutriëntengehalten. In de rest van de Krimpenerwaard heeft het grondwater een lithocliene karakteristiek (regenwater) met zeer hoge nutriëntengehalten (verrijking door bodempassage) en een toenemende hardheid van zuid naar noord onder invloed van de infiltratie. Verwacht wordt dat in de zone langs de Lek en rond de rivierduinen sprake is van relatief aërobe condities. Voor het overige zal, gezien de aanwezigheid van een organisch rijke deklaag sprake zijn van anaërobe/gereduceerde condities.

Toetsing

Uit de berekeningen blijkt dat voor het merendeel van de dempingen er geen doorslag van verontreinigingen zal plaatsvinden. Bij een beperkte groep dempingen (rivierduin of ondiepe geul met infiltratiesituatie) kan op termijn (50 tot 200 jaar) doorslag plaatsvinden van organische verbindingen, zoals benzeen en xylenen, met concentraties rond/boven de streefwaarde. Onder invloed van preferente stroming zou voor benzeen in de huidige situatie al doorbraak zijn te verwachten. Voor zware metalen geldt bij een ondiepe geul dat slechts op zeer lange termijn doorslag valt te verwachten (> 1000 jaar), waarbij de concentraties ver onder de streefwaarde blijven. Preferente stroming verandert hier nauwelijks iets aan.

Verspreiding van benzeen (en xylenen) zou voor een specifieke groep dempingen (in theorie) dus een overschrijding van de toetsingswaarden voor het watervoerend pakket te zien kunnen geven. Ook hier moet echter weer de kanttekening bij worden geplaatst dat sprake is van een ‘opdrogende’ bron. Verder is de concentratie xylenen in het watervoerend pakket regelmatig verhoogd ten opzichte van de streefwaarde (zuidzijde, mogelijk veroorzaakt door historische aan-

voer vanuit de Lek) en wordt benzeen incidenteel aangetroffen in ten opzichte van de streefwaarde verhoogde concentraties.

9.5 Alternatieve benadering voor route 1

Het verificatie-onderzoek toont aan dat de hoeveelheid verontreinigingen in de demping die beschikbaar is voor verspreiding beperkt is. Met name bij route 2 en 3 verloopt de verspreiding van verontreinigingen vanuit het dempingmateriaal zeer traag en zijn de concentraties slechts maximaal verhoogd ten opzichte van de streefwaarde. Interventiewaarde- (of tussenwaarde-) overschrijdingen worden niet verwacht en slechts in incidentele gevallen zullen de verontreinigingen het grondwater of oppervlaktewater bereiken. Voor deze verspreidingsroutes zijn geen standaardmaatregelen opgenomen in het bodembeheerplan, een keuze die wordt gerechtvaardigd door de resultaten van het onderzoek.

Voor route 1 ligt dit anders. Voor deze route is wel een standaardmaatregel opgenomen (afdichten kopse kant) in het bodembeheerplan. Voor een aantal stoffen wordt in mindere of meerdere mate de MTR-waarde overschreden. Op grond hiervan is dan ook in het voorgaande geconcludeerd dat de standaardmaatregel zou moeten worden toegepast.

Uit de resultaten van het onderzoek blijkt dat het afdichten van de kopse kanten een effectieve maatregel is. Door het afdichten van de kopse kanten stroomt het grondwater vanuit de demping via het aangrenzende veenpakket indirect naar het aangrenzende oppervlaktewater. Hierdoor worden de verontreinigingen vastgelegd in de bodem, waardoor de uitstroom naar oppervlaktewater wordt tegengegaan. Consequentie is wel dat schone bodem wordt opgeladen, zij het in beperkte mate.

De vraag kan echter gesteld worden of de maatregel ook efficiënt is. Dit hangt af van het feit of de investering (in termen van geld, inspanning, overlast omgeving etc.) die moet worden gedaan opweegt tegen het effect van de maatregel (de vrachtreductie van verontreinigingen naar oppervlaktewater). De totale vracht aan verontreinigingen die wordt afgevangen kan worden afgezet tegen andere vrachten, waarmee het oppervlaktewatersysteem wordt belast (zoals bijvoorbeeld inlaat vanuit de Lek, overstorten, afstroming vanaf wegen etc). Mogelijk dat uit zo'n vrachtbenadering blijkt dat relatief veel (maatschappelijke) kosten gemaakt moeten worden voor een relatief geringe vrachtreductie.

Voor een vrachtbenadering ontbreekt echter een toetsingskader (in tegenstelling tot de toetsing aan een norm, waarvoor onder meer het toetsingskader is vastgelegd in de Wet Bodembescherming of de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren). Uitgaande van een vrachtbenadering zal het toetsingskader door de verschillende beleidsmakers en beheerders dan ook in onderling overleg moeten worden vastgesteld.

Vrachtberekening
Om deze discussie te voeden en om een idee te krijgen in de totale vracht verontreinigingen die momenteel via de dempingen in het oppervlaktewater en het watervoerend pakket terechtkomt is een indicatieve berekening uitgevoerd. Hierbij is gekeken naar de hoeveelheid grondwater die jaarlijks afstroomt naar oppervlaktewater, via de kopse kanten van de demping. Op grond van de beschikbare gegevens van de veldonderzoeken is de gemiddelde concentratie aan verontreinigingen bepaald van dit uitstromende water. Op basis hiervan is een schatting gemaakt van de totale vracht verontreinigingen die op jaarbasis op het oppervlaktewatersysteem terechtkomt. Deze belasting is vergeleken met andere belastingen op het oppervlaktewatersysteem (riooloverstorten, ongerioleerde huishoudens, ongerioleerde wegen, atmosferische depositie, nalevering waterbodem). Hiervoor is onder meer gebruik gemaakt van de (voorlopige) resultaten van

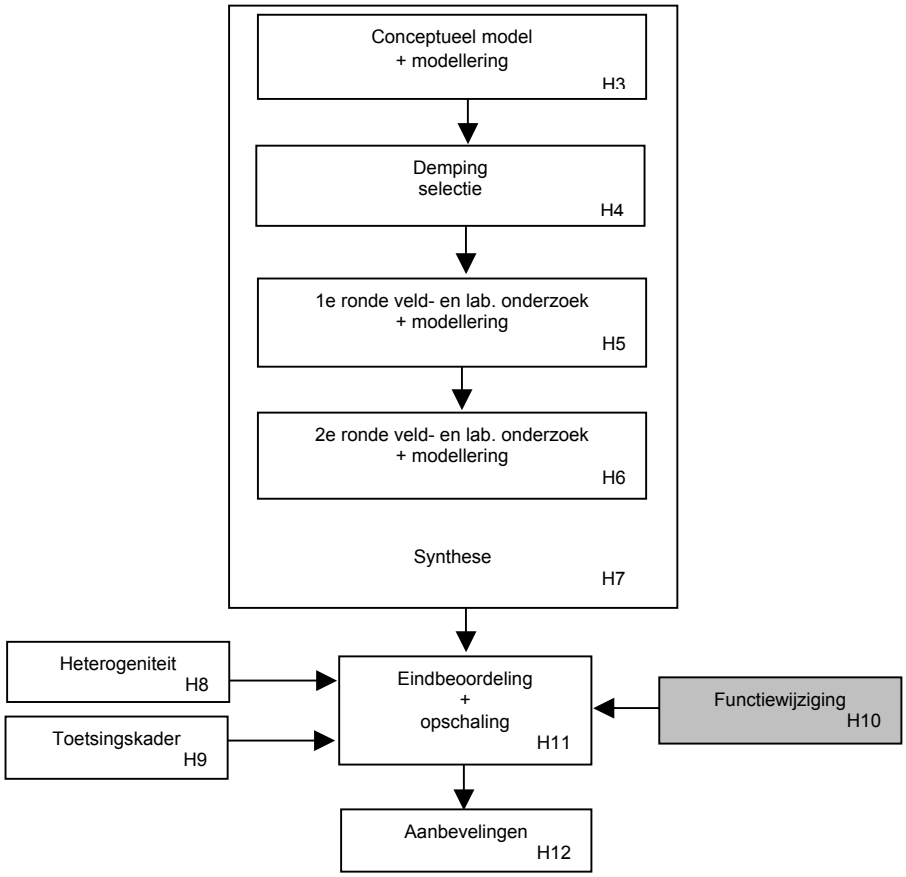
een studie van Royal Haskoning [2002] als vervolg op de studie ‘Diffuse bronnen’ en de gegevens van De Straat [2001] inzake de waterbodemkwaliteit in de Krimpenerwaard.

Geconcludeerd wordt dat dempingen een beperkte bijdrage leveren aan de totale belasting. Voor koper bedraagt deze bijdrage ongeveer 0,1%, voor zink iets meer dan 1% en voor nikkel (zonder rekening te houden met nalevering vanuit de waterbodem) circa 10%.

HOOFDSTUK 10

FUNCTIEWIJZIGING

10.1 Algemeen



Het verificatie-onderzoek richt zich primair op de eventuele verspreiding van verontreinigen vanuit de dempingen gegeven de huidige situatie (landgebruik, hydrologische condities). In de toekomst echter zal een deel van de Krimpenerwaard een bestemmingswijziging ondergaan, waarbij landbouwgebied wordt omgevormd tot natuurgebied.

Als onderdeel van het verificatie-onderzoek heeft daarom een eerste verkenning plaatsgevonden van de eventuele effecten van deze functiewijzigingen op de verspreiding van verontreinigingen en de schaal, waarop dit eventueel speelt. In dit hoofdstuk is een overzicht gegeven van de natuurontwikkelingsplannen en de consequenties hiervan voor eerder uitgevoerde berekeningen.

10.2 Overzicht plannen natuurontwikkeling

Een deel van de Krimpenerwaard zal in de toekomst een andere functie krijgen. Landbouwgrond zal worden omgevormd tot natuurgebied. De plannen die het Zuid-Hollands Landschap heeft met het gebied zijn in grote lijnen als volgt:

Totaal areaal natuurontwikkeling: 2500 hectare:

1. Waarvan reservaatsgebied: 2000 hectare:
   a) Waarvan weidevogelreservaat: 1600 hectare:
      - Waarvan plasdras: 64 hectare (8 hectare per 200 hectare weidevogelreservaat);
   b) Waarvan botanisch: 400 hectare;
      - Waarvan 200 tot 280 hectare geplagd.
2. Waarvan natuurontwikkelingsgebied: 500 hectare:
      - Waarvan 50 tot 100 hectare natuurdoeltype veenheide.

Reservaatsgebieden

Circa 2000 hectare wordt omgevormd tot reservaatsgebied, waarvan het grootste deel gericht is op weidevogelbeheer (circa 1600 hectare). Maatregelen die in deze gebieden genomen worden zijn optimalisatie van het greppelsysteem, peilopzet tot circa 30 cm-mv en het toedienen van een ruige mestgift. Per 200 hectare weidevogelreservaat wordt circa 8 hectare in de periode oktober-maart plas-dras gezet, met name bedoeld voor de voedselvoorziening. Door het plas-draszetten van de terreinen zullen de regenwormen meer bovenin de bodemprofielen terechtkomen en als voedsel kunnen dienen voor de weidevogels. Voorwaarde hierbij is dat de zuurgraad op peil blijft (6,5 tot 7). Hiertoe vindt zonodig bekalking plaats van deze plas-drasgebieden.

Daarnaast zal in de reservaatsgebieden lokaal geplagd worden (botanische gebieden), met name langs de randen van bestaande watersystemen. Er wordt geplagd in zogenaamde mozaïekpatronen. Plaatselijk zal dit inhouden dat relatief smalle zones (3,5 tot 5 meter) worden afgeplagd, of kopeinden tegen hoofdwatergangen worden geplagd, echter ook oppervlakten van een heel perceel en plaatselijk enkele aaneengesloten percelen zullen geplagd gaan worden. De gebieden zullen zo gekozen worden dat deze niet in de buurt komen te liggen van dempingen. De kwaliteit van het (grond)water in deze gebieden zal sterk bepaald worden door de kwaliteit van het oppervlaktewatersysteem.

Natuurontwikkelingsgebieden

Daarnaast worden natuurontwikkelingsgebieden ingericht. In deze gebieden staat men de ontwikkeling van specifieke natuurdoeltypen voor ogen. Een specifiek natuurdoeltype hierbij is veenheide, waarvoor 50 tot 100 hectare gereserveerd is. Dit natuurdoeltype verlangt een relatief zuur milieu met een pH ongeveer gelijk aan 5. Dit hoopt men te bereiken door onder meer het zogenaamde ‘hol plaggen’ in percelen, waardoor regenwater zoveel mogelijk wordt vastgehouden op de percelen en gescheiden wordt van oppervlaktewater.

Effecten natuurontwikkeling op verspreiding

Verwacht wordt dat met name door een lagere pH de zware metalen mobieler worden en meer gaan verspreiden. Daarnaast kan, als oppervlaktewater dichter op dempingen komt te liggen (bijvoorbeeld door plaggen/afgraven) de totale, af te leggen weg korter worden, zodat verontreinigingen eerder het oppervlaktewater bereiken.

De wijzigingen in de hydrologie zullen naar verwachting geen wezenlijke veranderingen in het verspreidingsgedrag van verontreinigingen teweegbrengen. Door de peilopzet zal het hydraulisch verhang van het grondwater naar het oppervlaktewater afnemen, waardoor verspreiding minder snel zal verlopen. Wel zal mogelijk sneller en langer water aan maaiveld komen te staan en oppervlakkige afstroming plaatsvinden. De verwachting is dat dit afstromende water met name zal bestaan uit (schoon) regenwater. In gebieden waar geplagd wordt (totaal 250 tot 380 hectare) zal deze afname van het verhang mogelijk weer teniet worden gedaan. Indien rekening wordt gehouden met een minimale afstand tot de dempingen (zie hiervoor hoofdstuk 11) worden geen problemen verwacht.

Resultaten aanvullende berekening
In een aanvullende berekening is het effect van een pH-verlaging op het verspreidingsgedrag van zware metalen onderzocht. Gekeken is naar de verspreiding via route 2 voor de situatie met een ongestoord profiel en een sterke kwelsituatie. Bij de berekening is uitgegaan van een:

- pH-verlaging tot 5;
- toename van de bronconcentratie met een factor 1,5 (vanwege lagere pH, ook in het dempingmateriaal).

De resultaten van deze berekening geven aan dat er nauwelijks extra verspreiding optreedt van zware metalen via het perceel.

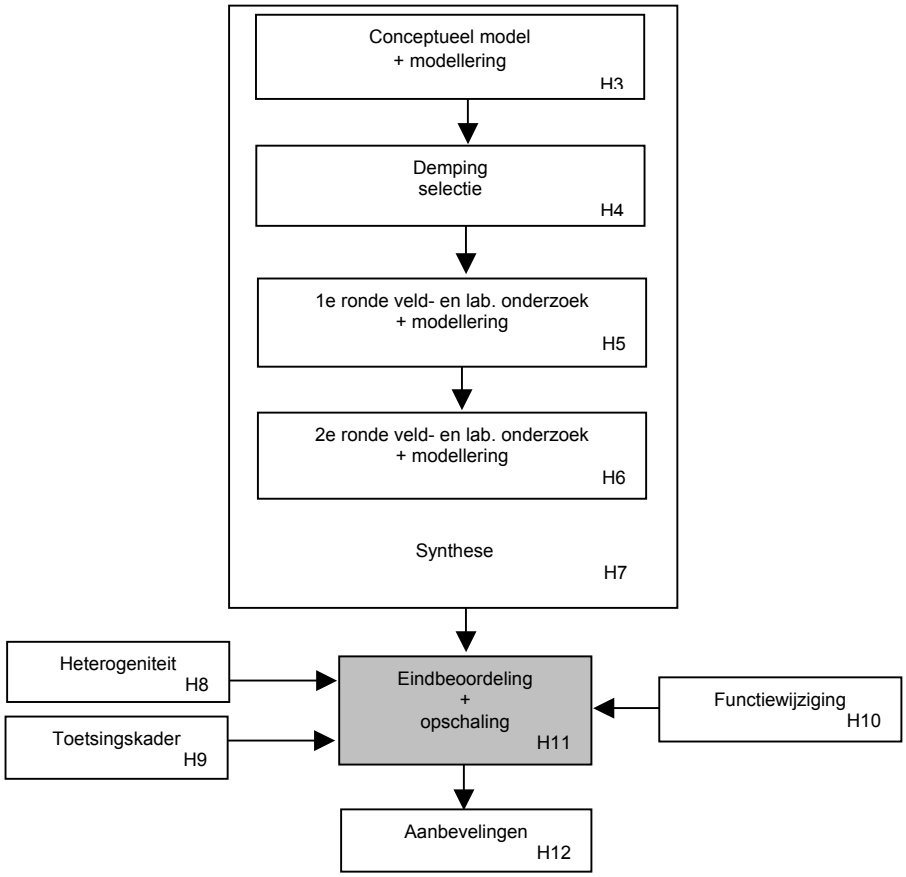
Conclusies
Het omvormen van landbouwgebieden naar natuurgebieden in de Krimpenerwaard heeft geen grote gevolgen voor de verspreiding van verontreinigingen. Een pH-verlaging tot circa 5 zorgt nauwelijks voor extra verspreiding. Door peilopzet nemen de verhangen in horizontale richting af, waardoor het transport van verontreinigingen minder snel zal verlopen. Wel zal hierdoor naar verwachting vaker water aan maaiveld komen te staan. De verwachting is echter dat dit vooral regenwater zal zijn.

Overigens treedt de verzuring slechts op in een zeer klein gebied. Bij het natuurdoeltype veenheide (50 tot 100 hectare) wordt deze lagere pH bewust nagestreefd. In de gebieden met een plas-dras situatie (circa 64 hectare) wordt gestreefd naar een normale pH, maar zou een lagere pH kunnen ontstaan indien de geplande maatregelen niet blijken te werken. Voor 90 tot 95% van de in te richten reservaats- en natuurontwikkelingsgebieden is verzuring dus geen doelstelling. Verder vormen de (bewust) verzuurde terreindelen maar een fractie van het totale oppervlak van de Krimpenerwaard (circa 13.700 hectare).

HOOFDSTUK 11

EINDBEOORDELING EN OPSCHALING

11.1 **Algemeen**



Doel van het verificatie-onderzoek is de aannamen te toetsen, zoals die zijn gedaan in het bodembeheerplan. In dit hoofdstuk wordt elke aanname afzonderlijk besproken aan de hand waarvan de hoofdconclusies van het onderzoek worden samengevat.

De aanname dat er geen verspreiding plaatsvindt bij onverdacht materiaal is niet getoetst. De reden hiervoor is aan de orde gekomen in hoofdstuk 1. Tevens wordt een beoordeling gegeven van de standaardmaatregel, zoals genoemd in het bodembeheerplan.

Tenslotte wordt in dit hoofdstuk aangegeven hoe de resultaten van het onderzoek kunnen worden opgeschaald naar de gehele Krimpenerwaard.

11.2 **Verspreiding naar oppervlaktewater**

Aanname
Verspreiding naar grondwater vindt altijd plaats bij verdacht dempingmateriaal:
- dit leidt tot overschrijdingen van de I-waarde in het grondwater;
- dit kan leiden tot overschrijdingen van kwaliteitseisen in het oppervlaktewater aan de kopse kanten van de gedempte sloten.

Toetsing aanname

Dempingmateriaal
Verdacht dempingmateriaal blijkt verontreinigingen te bevatten. De concentraties in de grond in het dempingmateriaal overschrijden, met name voor de zware metalen, in veel gevallen de I-waarden. De nalevering van deze verontreinigingen aan het grondwater is echter dusdanig gering dat de gemeten gehalten in het grondwater de I-waarde vrijwel nooit overschrijden.

Naast zware metalen komen in de dempingen ook organische verbindingen voor, waaronder BTEX en naftaleen. Eerder uitgevoerde bodemonderzoeken geven aan dat in het verleden in het grondwater in de dempingen ten opzichte van de I-waarden verhoogde concentraties zijn gemeten. In het verificatie-onderzoek konden deze overschrijdingen niet meer worden vastgesteld. Veelal liggen de concentraties van de betreffende stoffen onder de detectiegrens of S-waarden. Incidenteel worden S-waarde overschrijdingen gemeten.

Overschrijdingen van de I-waarde in het grondwater
De aanname dat de verontreinigingen leiden tot I-waarde overschrijdingen in het grondwater is op grond van voorgaande dan ook niet juist. Het algemene beeld dat volgt uit het verificatie-onderzoek is dat de gehalten verontreinigende stoffen in het grondwater van de dempingen (de bron) slechts verhoogd zijn ten opzichte van de S-waarde. De gemeten concentraties in het grondwater in de omgeving van de dempingen zijn vergelijkbaar of lager dan de gemeten concentraties in de dempingen, maar overschrijden zeker niet de I-waarden. Tijdens het onderzoek zijn incidenteel (met name bij 1 demping) wel ten opzichte van de I-waarde verhoogde concentraties aangetroffen in het grondwater rond de demping. Bij deze demping was sprake van een zeer sterk verhoogde bronconcentratie.

Overschrijding van kwaliteitseisen in het oppervlaktewater
Alhoewel geen duidelijke verontreiniging van het grondwater in de demping (> I-waarde) kon worden vastgesteld blijkt voor bepaalde stoffen (met name zink, koper, chroom en nikkel) wel een overschrijding van de kwaliteitseisen voor oppervlaktewater op te kunnen treden aan de kopse kanten.

11.3 Verspreiding naar (diep) grondwater

Aanname
Horizontale en verticale verspreiding naar grondwater vindt altijd plaats bij verdacht materiaal:
- dit leidt tot overschrijding van de I-waarde in het (freatisch) grondwater;
- dit leidt niet tot overschrijdingen in het eerste watervoerend pakket, behalve bij dempingen met verdacht dempingmateriaal op gefundeerde zandbanen en donken in een infiltratiesituatie.

Toetsing aanname
Overschrijding van de I-waarde in het (freatisch) grondwater
Tijdens het veldonderzoek is in zeer beperkte mate horizontale verspreiding van verontreinigingen aangetoond. De grond binnen een afstand van 0,5 meter vanaf de demping is hooguit verontreinigd met concentraties verhoogd ten opzichte van de S-waarde. In het grondwater zijn op respectievelijk 1, 3 en 5 meter vanuit de demping, met uitzondering van chroom, geen verontreinigende stoffen aangetroffen. Horizontale verspreiding van verontreinigingen naar aangrenzende sloten wordt dan ook uitgesloten.

Tijdens het veldonderzoek is onder de dempingen verticale verspreiding van verontreinigingen aangetoond. De grond onder de demping is tot een maximale diepte van 1,5 tot 2 meter verontreinigd met zware metalen, in het algemeen in concentraties boven de S-waarde en incidenteel

verhoogd ten opzichte van T- of I-waarde. In het grondwater worden (incidenteel) S-waarde overschrijdingen aangetroffen. I-waarde overschrijdingen in het grondwater zullen naar verwachting niet optreden vanwege de lage bronconcentratie (S-waarde overschrijdingen).

Overschrijding in het eerste watervoerend pakket
Uit de berekeningen volgt dat voor het merendeel van de dempingen geen overschrijding van de kwaliteitseisen valt te verwachten. De meest kritische dempingen zijn gelegen op een dagzomende rivierduin (donk) of ondiepe geulopvulling (geul vanaf circa 3 m-mv) in een gebied met een sterke infiltratiesituatie. Hierbij wordt opgemerkt dat dempingen direct op een dagzomende rivierduin (vrijwel) niet voorkomen.

Bij ligging op een ondiepe geul zal eventuele doorslag binnen afzienbare termijn (binnen 50 tot 200 jaar) alleen plaatsvinden voor organische verbindingen (met name benzeen en in mindere mate xylenen). Echter, gezien het feit dat deze stoffen in de demping zelf nauwelijks meer voorkomen is het de vraag of deze stoffen het watervoerend pakket in de praktijk ooit bereiken. Monitoring kan hier meer uitsluitsel over geven.

11.4 **Standaardmaatregel verspreiding**

In het bodembeheerplan is, om eventuele ongewenste verspreiding naar oppervlaktewater tegen te gaan ‘het afdichten van de kopse kanten van de dempingen’ opgenomen als standaardmaatregel. Uit het verificatie-onderzoek zal moeten blijken of dit een afdoende en zinvolle maatregel is om verspreiding naar oppervlaktewater tegen te gaan.

Het afdichten van de kopse kanten is een effectieve maatregel, aangezien hiermee de directe uitstroom van verontreinigingen naar het oppervlaktewater wordt tegengegaan. Daar staat tegenover dat deze verontreinigingen vervolgens worden vastgelegd in de bodem, waardoor deze (minimaal) verontreinigd raakt.

De vraag die gesteld kan worden is of deze maatregel efficiënt is. Er is sprake van een minimale overschrijding van de MTR-waarde van een aantal stoffen. Uit het onderzoek is gebleken dat de lokale achtergrondkwaliteit van het oppervlaktewater voor een aantal stoffen ook verhoogd is ten opzichte van de MTR-waarden. Verder zijn in een aantal referentiepeilbuizen (grondwater) de gemeten gehalten vergelijkbaar met de gemeten gehalten in de dempingen, waarbij soms ook de MTR-waarden worden overschreden. Een vrachtberekening geeft aan dat de bijdrage van de dempingen aan de totale belasting van het oppervlaktewatersysteem voor een aantal stoffen slechts minimaal is.

11.5 **Opschaling**

De gegevens die zijn verkregen via modelberekeningen en veldonderzoek zijn uitgevoerd voor specifieke situaties en op een beperkt aantal dempingen. De gegevens moeten worden opgeschaald naar alle voorkomende situaties/dempingen in de Krimpenerwaard. Onderstaand is aangegeven hoe dit kan plaatsvinden.

11.5.1 *Kaartmateriaal, toepassing GIS/ArcView*
Om opschaling op eenvoudige wijze uit te kunnen voeren is een deel van de verzamelde gegevens uit bijlage A zoveel mogelijk gebiedsdekkend (kaarten) en digitaal in beeld gebracht. Dit gaat met name om de gegevens op het gebied van:
- ligging van dempingen;
- bodemopbouw;
- maaiveldhoogte;
- polderpeil en stijghoogte.

Met toepassing van GIS/ArcView is het mogelijk om gegevens uit verschillende kaarten te combineren en op grond hiervan conclusies te trekken voor de Krimpenerwaard als gebied. In tabel 15 is een overzicht gegeven van de basiskaarten die zijn gebruikt in het onderzoek en de combinatiekaarten die hieruit zijn samengesteld. Alleen de combinatiekaarten die relevant zijn voor de opschaling van resultaten zijn opgenomen in het eindrapport.

Tabel 15. Overzicht basiskaarten en combinatiekaarten.

Kaart	Thema	Toelichting
		Basiskaarten
1	Ligging dempingen	Bijgewerkte kaart vanuit vooronderzoek [IWACO, 2000] met dempingen met verdacht dempingmateriaal (categorie A/B, al dan niet met verdachte afdeklaag). Een groot aantal dempingen betreft bouw- & sloopafval en baggerspecie.
2	Geologie	Dit betreft de geologie van de Krimpenerwaard gebaseerd op de Geologische kaart [Staalduinen, 1979]. Voor verdere toelichting zie paragraaf 3.2 en bijlage A.
3	Maaiveldhoogte	Bestand van de provincie Zuid-Holland uit 1984. Het AHN-bestand voor dit gebied is nog niet beschikbaar (medio 2002). Aangezien in het gebied sprake is van voortdurende maaiveldddaling (door oxidatie van veen) zullen de huidige maaiveldhoogten lager zijn. Deze kaart is toegevoegd omdat, met name voor de kwelzone langs de Lek, deze informatie relevant is voor het inschatten van de eventuele verspreiding van verontreinigingen naar het watervoerend pakket (route 3, zie onder samengestelde kaarten).
4	Polderpeil	Afkomstig van het Hoogheemraadschap van de Krimpenerwaard. Zie voor achtergrondinformatie paragraaf 3.2 en bijlage A. In combinatie met de stijghoogten in het eerste watervoerend pakket kan deze kaart worden gebruikt voor het afleiden van het stijghoogteverschil over de deklaag.
5a, b	Stijghoogte	Betreft gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste stijghoogte in het watervoerend pakket in de periode 1990-2000. Voor achtergrondinformatie/toelichting zie paragraaf 3.2 en bijlage A.
8	Onderzochte dempingen referentiebuizen	Kaart met overzicht ligging onderzochte dempingen (eerste en tweede veldwerkronde) alsmede ligging referentie peilbuizen.
		Combinatie kaarten
-	Geologie	De geologische formaties uit kaart 2 zijn gekoppeld aan de dempingen. Hieruit blijkt dat een beperkt aantal dempingen zich binnen het verspreidingsgebied van de rivierduinafzettingen bevindt. Daarnaast zijn dempingen te onderscheiden die op een diepe of ondiepe geulafzetting liggen. Het overgrote deel van de dempingen ligt in gebieden zonder geulafzettingen of rivierduinen.
-	Polderpeil – stijghoogte (gem. hoog)	Deze kaart geeft inzicht in de mate van stijghoogteverschillen in verticale richting. Langs de Lek is een smalle zone aanwezig met een kwelsituatie (1,5 tot 2,0 meter stijghoogteverschil). In een vrij brede zone in het midden van de Krimpenerwaard is sprake van een situatie met een beperkte kwel of infiltratie (± 0,5 tot 0 meter). Richting het noordwesten van de Krimpenerwaard is sprake van een infiltratiesituatie (1,5 tot 2 meter stijghoogteverschil).
-	Polderpeil – stijghoogte (gem. laag)	Idem als hiervoor, maar nu voor de gemiddeld lage situatie. Het beeld komt in grote lijnen overeen. In het middengebied is sprake van een gedeeltelijke omslag van kwel naar infiltratie.
6a..d		Combinatie van de thema's geologie, polderpeil en (gemiddelde) stijghoogte. Per geologisch profiel zijn de gegevens samengevoegd in een kaart, te weten rivierduin (kaart 6a), ondiepe geul (kaart 6b), diepe geul (kaart 6c) en ongestoord profiel (kaart 6d).
7	Maaiveld – stijghoogte (gemiddeld laag)	In de praktijk kan de freatische grondwaterstand maximaal aan maaiveld komen te staan. Door de maaiveldhoogte te combineren met de gemiddeld laagste stijghoogte wordt een beeld verkregen van de maximaal optredende infiltratiesituatie. Indien in dit geval nog steeds sprake is van een opwaartse stroming (kwel) is het risico op verspreiding van verontreinigingen (in opgeloste fase) in neerwaartse richting zeer klein. Uit kaart 7 volgt dat dit voor een aantal dempingen langs de Lek het geval is. Een aantal van deze dempingen ligt binnen het verspreidingsgebied van rivierduinen.

11.5.2 *Opschaling per verspreidingsroute*

Route 1

Bij deze route is de hydrologie en/of de bodemopbouw niet bepalend voor het vaststellen van de mate van verspreiding en het eventueel overschrijden van de toetsingswaarden. Voor bepaalde gevallen (dempingen op een ondiepe geul in gebieden met sterke infiltratie) is op grond van de berekeningsresultaten bepaald dat hier netto sprake is van toestroming van oppervlaktewater naar de demping. Echter, gedurende het natte deel van het seizoen zal ook bij deze gevallen afstroming via de demping naar oppervlaktewater plaatsvinden. Zowel bij de dempingen in kwel-

gebieden als bij de infiltratiegebieden zijn tijdens het veldonderzoek langs de kopse kanten verontreinigingen in het grondwater aangetoond.

Wel bepalend is het voorkomen van een aantal zware metalen (zink, koper en nikkel) in het grondwater, die voor een overschrijding van de toetsingswaarden kunnen zorgen. Aangezien deze stoffen in vrijwel alle dempingmaterialen voorkomen is het niet mogelijk om op basis van het type dempingmateriaal een selectie te maken van dempingen, waarbij de toetsingswaarden wel/niet worden overschreden en de standaardmaatregel dus wel/niet noodzakelijk is.

In overleg met de Stichting Bodembeheer Krimpenerwaard, provincie Zuid-Holland en het Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden dienen de verschillende opties voor toepassing van de standaardmaatregel te worden bepaald. Vooralsnog liggen de volgende opties voor de hand:
- Toepassen van de standaardmaatregel op alle dempingen (indien de huidige immissies niet toelaatbaar worden geacht).
- Op geen enkele demping toepassen van de standaardmaatregel. Deze optie komt in beeld als de partijen zich kunnen vinden in de uitwerking van een vrachtbenadering. Zonodig kunnen in dit verband andere creatieve oplossingen worden aangedragen om te komen tot verdergaande immissiereductie.
- Gericht toepassen van de standaardmaatregel na uitvoering van een ‘check’. Via metingen aan de kopse kant van een demping op de stoffen zink, koper en nikkel en aan de hand van een aantal criteria vaststellen of uitvoering van de standaardmaatregel noodzakelijk is.

Route 2
Zowel de berekeningen als de metingen geven aan dat deze route eigenlijk niet relevant is. Alleen in situaties waarbij een demping op een rivierduin ligt (geen veenlaag aanwezig tot aangrenzende sloot), zal op korte termijn doorslag plaatsvinden. Deze situatie komt echter (vrijwel) niet voor. Verder zal bij situaties waarbij de demping op korte afstand van een aangrenzende sloot ligt, sneller doorslag plaats kunnen vinden van verontreinigingen dan waarvan is uitgegaan in de berekeningen (perceelbreedte circa 20 meter). Op het moment dat de demping aan het water grenst ontstaat in wezen de situatie, zoals besproken bij route 1. Voor zware metalen zal een perceel met een breedte van enkele meters voldoende zijn om ontoelaatbare uitstroom van verontreinigingen naar de aangrenzende sloot tegen te gaan. Voor organische verbindingen, zoals benzeen en xylenen kan in dat geval (in theorie) wel een probleem ontstaan door snelle doorslag. Echter, de metingen in het veld (omvang bronconcentratie en mate van verspreiding) geven aan dat deze problemen in de praktijk niet zijn te verwachten, of inmiddels al zijn gepasseerd.

Route 3
Met name voor deze route zijn de kaarten 6a tot en met 6b relevant. Voor het overgrote deel van de dempingen (kaart 6c en 6d) valt verspreiding via route 3 niet te verwachten. Wat betreft de dempingen ‘op’ rivierduinen (kaart 6a) moet worden opgemerkt dat er (waarschijnlijk) geen dempingen aanwezig zijn direct op een dagzomende rivierduin. Wel kunnen dempingen in de buurt van een dagzomende rivierduin liggen of op een niet dagzomende rivierduin. Verder liggen de dempingen in kaart 6a aan de zuidzijde van de Krimpenerwaard in een gebied waar sprake is van een structurele kwelsituatie. Voor deze dempingen is route 3 niet relevant.

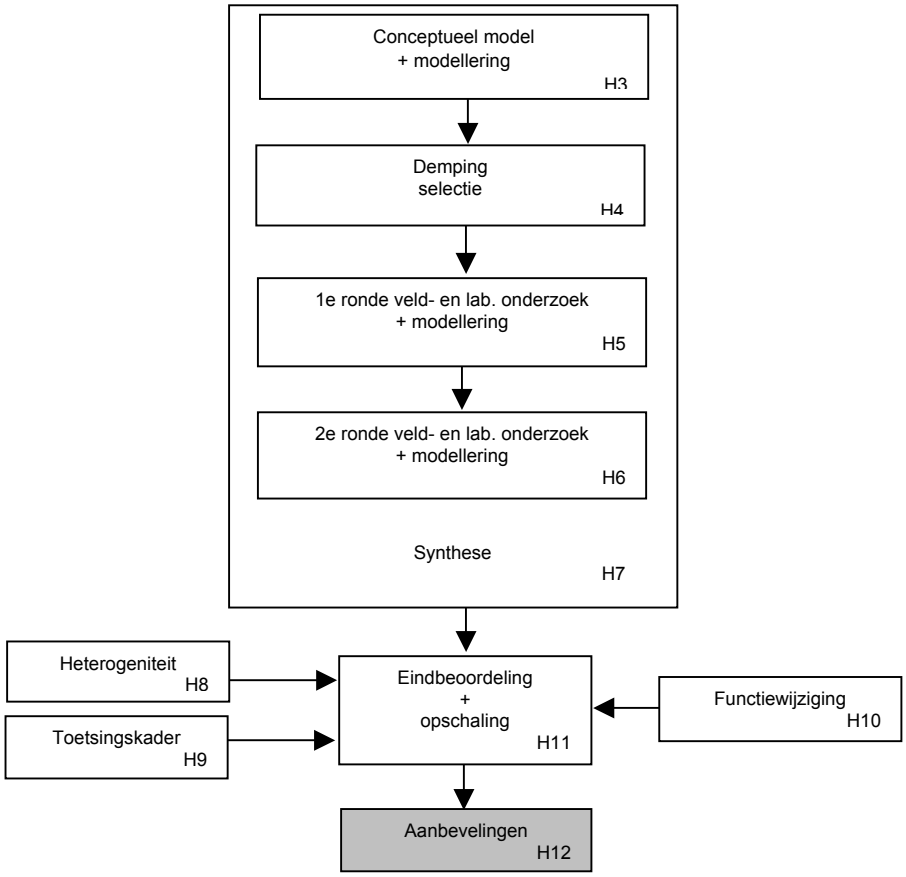
De grondwaterstroming rond dempingen op een ongestoord profiel, maar in de buurt van een (on)diepe geul of rivierduin blijkt te worden beïnvloed (tot circa 25 meter vanuit de dempingen). De verblijftijd van het grondwater in deze situaties wordt korter. Echter de totale verblijftijd van de verontreinigingen wordt langer doordat het water (en de verontreinigingen) een aanzienlijk langere weg door het veen aflegt met een grote adsorptiecapaciteit. Hier hoeft dan ook geen rekening mee te worden gehouden bij het opschalen.

De groepen dempingen die daarmee als ‘relevant’ overblijven zijn die dempingen op een ondiepe geul of op een rivierduin in het noordelijke deel van de Krimpenerwaard waar sprake is van een sterke, structurele infiltratiesituatie en de dempingen rond en ten oosten van Stolwijk waar sprake is van een lichte infiltratiesituatie, danwel een overgangssituatie kwel-infiltratie.

Voor deze categorieën kunnen de resultaten van het onderzoek worden geschaald naar toenemende mate van verspreiding (bijvoorbeeld in termen van (theoretische) doorslag van verontreinigingen. Voor deze dempingen wordt aanbevolen om een monitoringsprogramma op te zetten.

HOOFDSTUK 12

AANBEVELINGEN



Op grond van het uitgevoerde onderzoek worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Overleg met de waterkwaliteitsbeheerder en de provincie over de resultaten van het onderzoek, in het bijzonder de effecten op oppervlaktewater via de kopse kanten. Bepalen of een standaardmaatregel moet worden uitgevoerd. Zo ja, dan dient deze maatregel verder te worden uitgewerkt.

- Nader uitwerken van een monitoringsprogramma voor die dempingen, waarvoor op termijn mogelijk sprake zal zijn van ontoelaatbare verspreiding naar het watervoerend pakket. Als onderdeel van de uitwerking van het monitoringsprogramma dient in ieder geval de ligging van de geulen ter plaatse van deze dempingen zoveel mogelijk in beeld te worden gebracht. Aanbevolen wordt verder om bij het uitwerken van het monitoringsprogramma naast de resultaten van het verificatie-onderzoek rekening te houden met beschikbare resultaten van eerder uitgevoerde bodemonderzoeken op dempingen.

LITERATUUR

Bierkens, M.F.P., 1994. Complex confining layers. A stochastic analysis of hydraulic properties at various scales. Doctoral thesis, University of Utrecht, Utrecht, the Netherlands, 263 pages.

BKH, 1993. Nader onderzoek clusters I en III te Vlist (hoofdrapport + bijlagenrapport).

BKH, 1996. Nader onderzoek cluster I te Berkenwoude, rapportage clusteronderzoek.

BKH, 1996. Nader onderzoeken cluster I te Berkenwoude, afzonderlijke rapportages van de deellocaties 051-085; 051-101/13; 051-012; 051-004; 051-088.

Boekhold, A.E., 1992. Field scale behaviour of cadmium in soil. Doctoral thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, the Netherlands, 192 pages.

Boland, D., 1994. Hydrologisch Onderzoek Krimpenerwaard, Landinrichtingsdienst Zuid-Holland.

Brink, van den, C en W.J. Zaadnoordijk, 1997. Nonequilibrium transport and sorption of organic chemicaks during aquifer remediation. Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques, 42(2), 245-264.

Dagan, G. and Cvetkovic, V.D., 1996. Reactive transport and immiscible flow in geochemical media, 1, General theory. Proc. R. Soc. London Ser. A, 452,285-301.

GEOFOX, 1994. Nader onderzoek cluster II te Vlist, concept-hoofdrapport (dempingen met ibs-code 561/… 005, 020+039, 021, 147, 148+208, 152, 179, 189, 198a), projectnummer 73350/LK/RB.

Hoogheemraadschap van de Krimpenerwaard, 1995. Jaarverslag waterkwantiteit 1995.

IWACO B.V. (sinds september 2001 Royal Haskoning), Triwaco voor Windows, versie 2.0.

IWACO B.V. (sinds september 2001 Royal Haskoning), 2000. Vooronderzoek Krimpenerwaard.

IWACO B.V. (sinds september 2001 Royal Haskoning), 2000. Watertypen door middel van clusteranalyse. Studie in opdracht van IPO/NAVOS.

IWACO B.V. (sinds september 2001 Royal Haskoning), 2001. Diffuse bronnen Zuid-Holland. Studie in opdracht van de provincie Zuid-Holland.

James & Barlett, Behavior of chromium in soils. V. Fate of organically complexed Cr(III) added to soil, J. Environ. Quality, 12, 169-172, 1983.

Jeths, R. & Vissenberg, R.H., 1993. Landelijk meetnet grondwaterkwaliteit. Analyseresultaten bemonstering 1992 provincie Zuid-Holland. RIVM Deelrapport nr. 714810010.

Lochrer, W.P. en de Bakker, H. 1987. Bodemkunde van Nederland.Stichting voor bodenkartering.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1998. Vierde Nota waterhuishouding. Regeringsbeslissing.

Royal Haskoning, 2002 (nog niet afgerond). Gebiedsgerichte analyse van bronnen en vrachten. Studie in opdracht van de provincie Zuid-Holland.

Staalduinen, C.J. van, 1979. Geologische kaart van Nederland 1:50.000, inclusief toelichting, blad Gorinchem West (38 W).

Straat, de, adviesbureau, 2001. Bodemkwaliteitskaart land- en waterbodem Krimpenerwaard. In opdracht van de Stichting Bodembeheer Krimpenerwaard. Concept-rapport. 7 juni 2001.

Temminghoff, E.J.M., 1998. Chemical speciation of heavy metals in sandy soils in relation to availability and mobility. Doctoral thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, the Netherlands, 183 pages.

OVERIGE LITERATUUR/VERWIJZINGEN BIJLAGEN

Berendsen, H.J.A., 2000. Veldonderzoek naar de aard en samenstelling van de Holocene deklaag in de Krimpenerwaard (ongepuliceerde gegevens), Universiteit Utrecht, Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, Fysische geografie.

Commissie Integraal Waterbeheer, 2000. Emissie – immissie, prioritering van bronnen en de immissietoets.

Cornelissen, C. 1992. Freatische grondwaterstanden in poldergebieden, TNO.

Keijzer, H. and van der Zee, S.E.A.T.M., 2001. Stochastic analysis of nonlinear biodegradation and transport in heterogeneous aquifers.

Otte, J.G., Romkens, P.F.A.M, Yiktak, A. en de Vries, W. Partitierelaties voor zware metalen (Cd, Cu, Pb, Zn) voor diffuus verontreinigde Nederlandse bodems, PGBo, Wageningen. jaartal???

Salomé, P., 1996. Slootdempingen in de Krimpenerwaard – Bepaling effecten voor het kwantitatief waterbeheer, Hoogheemraadschap van de Krimpenerwaard – Technische Universiteit Delft.

Suarez, M.P. and Rifai, H.S., 1999. Biodegradation rates for fuel hydrocarbons and chlorinated solvents in groundwater. Bioremediation Journal 3: 337-362.

Tauw, adviesbureau, 1995. Inventarisatie diffuse emissies in Flevoland.

Weerts, H.J.T., 1996. Complex confining layers: Architecture and hydraulic properties of Holocene and late Weichselian deposits in the fluvial Rhine-Meuse delta, The Netherlands.

KAARTEN OVERZICHT

1. Ligging dempingen categorie A en B
2. Geologie
3. Maaiveldhoogte
4. Polderpeilen
5.a Stijghoogte (gemiddeld hoog)
5.b Stijghoogte (gemiddeld laag)
6.a Polderpeil – stijghoogte, rivierduinafzettingen
6.b Polderpeil – stijghoogte, ondiepe geulafzettingen
6.c Polderpeil – stijghoogte, diepe geulafzettingen
6.d Polderpeil – stijghoogte, geen geulafzettingen
7. Maaiveld – stijghoogte (gemiddeld laag)
8. Overzicht dempingen veldonderzoek en referentiepeilbuizen

Legenda

- Industrieel en bedrijfsafval
- Shredder
- Bouw- en sloopafval
- Huishoudelijk afval
- Lompen
- Baggerspecie

- Wegen
- Bebouwing
- Water

N

0 1000 2000 Meters

Topografische ondergrond (c) Topografische dienst, Emmen

Titel:
Ligging dempingen categorie A en B

Project:
Verificatieonderzoek verspreiding Krimpenerwaard

Opdrachtgever:
SBK/SKB

Datum: 10-10-2002

Schaal: 1:50000

Kaart: 1

ROYAL HASKONING
HASKONING NEDERLAND B.V. IS A COMPANY OF ROYAL HASKONING

p:\projdirs\420140\gis001\projecten\basismateriaal.apr 420140-030 Erg

Legenda

- Verbreidingsgebied rivierduinafzetting (waaronder formaties F0k en Kre)
- Geulafzetting ondiep (formaties rC0 en rA0K)
- Geulafzetting diep (formaties rC2 en rA2k)
- Geen geulafzettingen (formaties rG2 en rF2k)
- Overige formaties (formaties dd en rBd2g)
- Wegen
- Bebouwing
- Water

N

0 1000 2000 Meters

Topografische ondergrond (c) Topografische dienst, Emmen

Titel:
Geologie

Project:
Verificatieonderzoek verspreiding Krimpenerwaard

Opdrachtgever:
SBK/SKB

Datum: 10-10-2002

Schaal: 1:50000

Kaart: 2

ROYAL HASKONING
HASKONING NEDERLAND B.V. IS A COMPANY OF ROYAL HASKONING

p:\projdirs\420144a0\gis001\projecten\basismateriaal.apr 420144A0-031 Erge

Legenda

Maaiveldhoogte (1984)
(in m t.o.v. NAP)

- -2.50--2.00
- -2.00--1.75
- -1.75--1.50
- -1.50--1.25
- -1.25--1.00
- -1.00--0.75
- -0.75--0.50
- -0.50--0.25
- -0.25-0
- 0-0.25
- 0.25-0.50
- No Data

- Wegen
- Bebouwing
- Water

N

0 1000 2000 Meters

Topografische ondergrond (c) Topografische dienst, Emmen

Titel:
Maaiveldhoogte (1984)

Project:
Verificatieonderzoek verspreiding Krimpenerwaard

Opdrachtgever:
SBK/SKB

Datum: 10-10-2002

Schaal: 1:50000

Kaart: 3

ROYAL HASKONING
HASKONING NEDERLAND B.V. IS A COMPANY OF ROYAL HASKONING

p:\projdirs\420140\gis001\projecten\basismateriaal.apr 420140-002 Erge

Legenda

- Polderpeil (m t.o.v. NAP)
- Wegen
- Bebouwing
- Water

-1.60
-0.95
-2.30
-1.90
-2.28
-2.05
-2.20
-2.07
-2.38
-2.20
-2.51
-2.15
-2.54
-1.97
-1.82
-2.15
-2.15
-2.17
-1.82
-1.82
-1.61
0.15
-2.20
-1.65
-1.60
-1.92
-0.45
-0.49
-0.39
-2.05
-2.08
-1.92

0 1000 2000 Meters

Topografische ondergrond (c) Topografische dienst, Emmen

Titel: Polderpeilen	Datum: 10-10-2002	Schaal: 1:50000
Project: Verificatieonderzoek verspreiding Krimpenerwaard	Kaart: 4	
Opdrachtgever: SBK/SKB	ROYAL HASKONING HASKONING NEDERLAND B.V. IS A COMPANY OF ROYAL HASKONING	

p:\projdirs\420140\gis001\projecten\basismateriaal.apr 420140A0-033 Erge

Legenda

- Isohypse (gemiddeld hoog) m t.o.v. NAP
- Wegen
- Bebouwing
- Water

-3.6 -3.4 -3.2 -3.0 -2.2 -2.0 -4.2 -4.4 -4.0 -3.8 -5.0 -4.8 -4.6 -1.4 -1.2 -1.0 -2.4 -2.8 -2.6 -1.8 -2.0 -2.2 -2.4 -2.6 -3.0 -0.4 -2.8 -1.6 -2.2 -2.4 -0.8

0 1000 2000 Meters

Topografische ondergrond (c) Topografische dienst, Emmen

Titel: Stijghoogte (gemiddeld hoog), periode 1990-2000	Datum: 10-10-2002
Project: Verificatieonderzoek verspreiding Krimpenerwaard	Schaal: 1:50000
Opdrachtgever: SBK/SKB	Kaart: 5a

ROYAL HASKONING
HASKONING NEDERLAND B.V. IS A COMPANY OF ROYAL HASKONING

p:\projdirs\42014a0\gis001\projecten\basismateriaal.apr 42014A0-034 Erge

Legenda

Isohypse (gemiddeld laag) m t.o.v. NAP

Wegen

Bebouwing

Water

-3.8 -3.6 -3.4 -3.2 -3.0 -2.8 -2.6 -2.4 -2.2 0 -2.0 -4.2 -4.0 -4.6 -4.4 -5.2 -5.0 -4.8 -2.0 -2.2 -2.6 -3.0 -1.0 -0.5 -2.4 -1.2 -1.6 -1.8 -3.0 -2.6 -1.4

0 1000 2000 Meters

Topografische ondergrond (c) Topografische dienst, Emmen

Titel: Stijghoogte (gemiddeld laag), periode 1990-2000	Datum: 10-10-2002
Project: Verificatieonderzoek verspreiding Krimpenerwaard	Schaal: 1:50000
Opdrachtgever: SBK/SKB	Kaart: 5b

ROYAL HASKONING

HASKONING NEDERLAND B.V. IS A COMPANY OF ROYAL HASKONING

p:\prodjrs\420140\gis001\projecten\basismateriaal.apr 420140-035 Erge

Legenda

Polderpeil-stijghoogte (in m);
klasse rivierduinafzetting

- -2.0 - -1.0 (kwel)
- -1.0 - -0.5
- -0.5 - 0
- 0 - 0.5
- 0.5 - 1.0
- 1.0 - 2.0 (infiltratie)

N

0 1000 2000 Meters

Topografische ondergrond (c) Topografische dienst, Emmen

Titel:
Polderpeil-stijghoogte, klasse rivierduinafzetting

Project:
Verificatieonderzoek verspreiding Krimpenerwaard

Opdrachtgever:
SBK/SKB

Datum: 10-10-2002

Schaal: 1:50000

Kaart: 6a

ROYAL HASKONING
HASKONING NEDERLAND B.V. IS A COMPANY OF ROYAL HASKONING

p:\projdirs\42014\gis001\projecten\basismateriaal.apr 42014A0.036 Erge

Legenda

Polderpeil-stijghoogte (in m);
klasse ondiepe geulafzetting

- -2.0 - -1.0 (kwel)
- -1.0 - -0.5
- -0.5 - 0
- 0 - 0.5
- 0.5 - 1.0
- 1.0 - 2.0 (infiltratie)

N

0 1000 2000 Meters

Topografische ondergrond (c) Topografische dienst, Emmen

Titel:
Polderpeil-stijghoogte, klasse ondiepe geulafzettingen

Project:
Verificatieonderzoek verspreiding Krimpenerwaard

Opdrachtgever:
SBK/SKB

Datum: 10-10-2002

Schaal: 1:50000

Kaart: 6b

ROYAL HASKONING
HASKONING NEDERLAND B.V. IS A COMPANY OF ROYAL HASKONING

p:\projdirs\42014\gis001\projecten\basismateriaal.apr 42014A0-037 Erge

Legenda

Polderpeil-stijghoogte (in m);
klasse diepe geulafzetting

- -2.0 - -1.0 (kwel)
- -1.0 - -0.5
- -0.5 - 0
- 0 - 0.5
- 0.5 - 1.0
- 1.0 - 2.0 (infiltratie)

N

0 1000 2000 Meters

Topografische ondergrond (c) Topografische dienst, Emmen

Titel:
Polderpeil-stijghoogte, klasse diepe geulafzettingen

Project:
Verificatieonderzoek verspreiding Krimpenerwaard

Opdrachtgever:
SBK/SKB

Datum: 10-10-2002

Schaal: 1:50000

Kaart: 6c

ROYAL HASKONING
HASKONING NEDERLAND B.V. IS A COMPANY OF ROYAL HASKONING

p:\projdirs\42014a0\gis001\projecten\basismateriaal.apr 42014A0-038 Erge

Legenda

Polderpeil-stijghoogte (in m);
klasse geen geulafzetting

- -2.0 - -1.0 (kwel)
- -1.0 - -0.5
- -0.5 - 0
- 0 - 0.5
- 0.5 - 1.0
- 1.0 - 2.0 (infiltratie)

N

0 1000 2000 Meters

Topografische ondergrond (c) Topografische dienst, Emmen

Titel:
Polderpeil-stijghoogte, klasse geen geulafzettingen

Project:
Verificatieonderzoek verspreiding Krimpenerwaard

Opdrachtgever:
SBK/SKB

Datum: 10-10-2002

Schaal: 1:50000

Kaart: 6d

ROYAL HASKONING
HASKONING NEDERLAND B.V. IS A COMPANY OF ROYAL HASKONING

p:\projdirs\42014a0\gis001\projecten\basismateriaal.apr 42014A0-039 Erge

Legenda

Maaiveldhoogte - Stijghoogte (meter)

- < 0 (kwel in geval water aan maaiveld)
- >= 0 (infiltratie in geval water aan maaiveld)

- Wegen
- Bebouwing
- Water

N

0 1000 2000 Meters

Topografische ondergrond (c) Topografische dienst, Emmen

Titel:
Maaiveld - stijghoogte
(gemiddeld laag)

Project:
Verificatieonderzoek verspreiding Krimpenerwaard

Opdrachtgever:
SBK/SKB

Datum: 10-10-2002

Schaal: 1:50000

Kaart: 7

ROYAL HASKONING
HASKONING NEDERLAND B.V. IS A COMPANY OF ROYAL HASKONING

p:\projdirs\42014a0\gis001\projecten\basismateriaal.apr 42014A0-040 Erge

Legenda

- Eerste ronde
- Eerste en tweede ronde
- Referentiepeilbuizen

Dempingcategorieën (cat. A en B):

- Industrieel en bedrijfsafval
- Shredder
- Bouw- en sloopafval
- Huishoudelijk afval
- Lompen
- Baggerspecie

- Wegen
- Bebouwing
- Water
- BIJ referenties macrochemie

N

38an00299
38an02007
38an02012
38bn02010
BIJ
BV
38AP0258
38az02212
38az02037
38bz02033
38bz02062
38BP0170
38bz02401
LV
BA
38az00621
38az00647
38AA3254
BL-2
38az02086
38bz02408
38AP0260
38BP0038
38CL0845
38dn02291
BL-1
38dn02017
38cn02348
38CP0395
38cn02364
38cn00851

0 1000 2000 Meters

Topografische ondergrond (c) Topografische dienst, Emmen

Titel:
Overzicht dempingen veldonderzoek en referentie peilbuizen

Project:
Verificatieonderzoek verspreiding Krimpenerwaard

Opdrachtgever:
SBK/SKB

Datum: 21-11-2002

Schaal: 1:50000

Kaart: 8

ROYAL HASKONING
HASKONING NEDERLAND B.V. IS A COMPANY OF ROYAL HASKONING

p:\projdirs\420140\gis001\projecten\basismateriaal.apr 420140-041 Erge