

NOBIS 98-1-10
FINANCIËLE RISICO'S VAN SANERINGSVA-
RIANTEN

Kwantitatieve risicoanalyse (QRA) ter
ondersteuning bij variantkeuze

drs. R.A.A. Hetterschijt (NITG-TNO)
dr.ir. C.B.M. te Stroet (NITG-TNO)
ir. M. van Zutphen (NITG-TNO)
dr.ir. W. Schlebaum (Tauw bv)
ir. M.H. Nijboer (Tauw bv)
ir. H. de Sain (BdS)
ing. J.G. Hartog (Mourik Groot-Ammers)

februari 2000

Gouda, CUR/NOBIS

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 CUR/NOBIS.

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, "©"Financiële risico's van saneringsvarianten - Kwantitatieve risicoanalyse (QRA) ter ondersteuning bij variantkeuze", februari 2000, CUR/NOBIS, Gouda."

Aansprakelijkheid

CUR/NOBIS 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 CUR/NOBIS 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 CUR/NOBIS 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 CUR/NOBIS.

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, "©"Financial risks of remediation projects - Quantitative risk assessment (QRA) for decision support on remedial options", February 2000, CUR/NOBIS, Gouda, The Netherlands."

Liability

CUR/NOBIS 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 CUR/NOBIS 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 CUR/NOBIS and/or the contributors.

Titel rapport

Financiële risico's van saneringsvarianten

CUR/NOBIS rapportnummer

98-1-10

Kwantitatieve risicoanalyse (QRA) ter ondersteuning bij variantkeuze

Project rapportnummer

98-1-10

Auteur(s)

drs. R.A.A. Hetterschijt
dr.ir. C.B.M. te Stroet
ir. M. van Zutphen
dr.ir. W. Schlebaum
ir. M.H. Nijboer
ir. H. de Sain
ing. J.G. Hartog

Aantal bladzijden

Rapport: 54
Bijlagen: 23

Uitvoerende organisatie(s) (Consortium)

NV EPON (ir. B.C. Neeleman, 038-4272912)
BdS (ir. H. de Sain, 0495-451007)
Gemeente Tilburg (drs. C. Rupert, 013-5429252)
Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam (drs. A.J.M. Schelwald-van der Kley, 0320-218900)
Mourik Groot-Ammers ((ing. J.G. Hartog, 0184-667232)
Provincie Noord-Brabant (ir. A.A. van der Koppel, 073-6808187)
Shell Global Solutions (ir. C.D. Parkinson, 070-3772833)
Tauw bv (dr.ir. W. Schlebaum, 0570-699911)
Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO (drs. R.A.A. Hetterschijt, 015-2696257)
Akzo Nobel (ir. R. Saal, 020-4196163)

Uitgever

CUR/NOBIS, Gouda

Samenvatting

Bij de afweging van saneringsvarianten spelen kosten een belangrijke rol. Het verloop van een sanering is echter aan onzekerheden onderhevig, waardoor een juiste schatting van de saneringskosten vaak niet mogelijk is. Onvoorziene gebeurtenissen kunnen grote kostenoverschrijdingen tot gevolg hebben. Tot nu toe zijn deze financiële risico's vaak onbekend en kunnen deze niet worden beschouwd bij de afweging van varianten. Een team van saneringsexperts en locatiedeskundigen bleek in staat om deze financiële risico's op kwantitatieve wijze te analyseren. Dit leidt soms tot een andere uitkomst van de afweging tussen varianten. Daarnaast maakt de risicoanalyse (QRA) het mogelijk de belangrijkste risicofactoren te identificeren, waardoor de onderzoeksinspanning op objectieve wijze kan worden gericht. De toepassingsmogelijkheden van een QRA zijn legio. Bij toepassing van innovatieve saneringstechnieken, grootschalige saneringen en programmatisch saneren kan een QRA dan ook bijdragen aan het minimaliseren van financiële risico's door deze inzichtelijk te maken. Dit faciliteert de ontwikkeling van 'gereedschappen' waarmee deze risico's beheersbaar kunnen worden gemaakt, zoals speciale verzekeringsproducten.

Trefwoorden**Gecontroleerde termen:**

financiële risico's, variantkeuze

Vrije trefwoorden:

onzekerheid, saneringskosten

Titel project

Financiële risico's van saneringsvarianten

Projectleiding

NITG-TNO
(drs. R.A.A. Hetterschijt, 015-2696257)

Dit rapport is verkrijgbaar bij:
CUR/NOBIS, Postbus 420, 2800 AK Gouda

Report title
Financial risks of remediation projects

CUR/NOBIS report number
98-1-10

Quantitative risk assessment (QRA) for
decision support on remedial options

Project report number
98-1-10

Author(s)
drs. R.A.A. Hetterschijt
dr.ir. C.B.M. te Stroet
ir. M. van Zutphen
dr.ir. W. Schlebaum
ir. M.H. Nijboer
ir. H. de Sain
ing. J.G. Hartog

Number of pages
Report: 54
Appendices: 23

Executive organisation(s) (Consortium)

NV EPON (ir. B.C. Neeleman, 038-4272912)
BdS (ir. H. de Sain, 0495-451007)
Municipality of Tilburg (drs. C. Rupert, 013-5429252)
Municipal Port Management of Rotterdam (drs. A.J.M. Schelwald-van der Kley, 0320-218900)
Mourik Groot-Ammers ((ing. J.G. Hartog, 0184-667232)
Province of Noord-Brabant (ir. A.A. van der Koppel, 073-6808187)
Shell Global Solutions (ir. C.D. Parkinson, 070-3772833)
Tauw bv (dr.ir. W. Schlebaum, 0570-699911)
Netherlands Institute of Applied Geoscience TNO (drs. R.A.A. Hetterschijt, 015-2696257)
Akzo Nobel (ir. R. Saal, 020-4196163)

Publisher
CUR/NOBIS, Gouda

Abstract

Costs are an important decision factor if a choice has to be made between several remedial options. Uncertainty with respect to the soil lithology, the contaminant situation and the effectivity of the remediation technique influence the reliability of the cost estimation. Unpredicted events occurring during the remediation could cause unexpectedly high remediation costs. Until now those financial risks arising from uncertainty of soil, contaminant situation, techniques and others are not considered when choosing a remedial option. This project showed that those risks can be assessed and evaluated by a team of remediation experts using commercially available software. Such a quantitative risk assessment (QRA) could change the outcome of the decision making process. Not only the uncertainty of the estimated costs can be identified but the key factors determining this uncertainty as well. This facilitates bench mark research aimed at minimising the financial risks of a remediation project. A QRA supports decisions on remediation of large-scale and complex contaminated sites, the application of innovative remediation techniques and the most successful approach for remediation of a certain branch of contaminated sites (e.g. dry cleaning industry contaminated with chlorinated solvents). A QRA can also facilitate development of financial- or insurance tools to deal with those risks.

Keywords

Controlled terms:
financial risks, decision making

Uncontrolled terms:
remediation costs, uncertainty

Project title
Financial risks of remediation projects

Projectmanagement
NITG-TNO
(drs. R.A.A. Hetterschijt, 015-2696257)

This report can be obtained by: CUR/NOBIS, PO Box 420, 2800 AK Gouda, The Netherlands
Dutch Research Programme In-Situ Bioremediation (NOBIS)

INHOUD

		SAMENVATTING	v
		SUMMARY	vi
Hoofdstuk	1	INLEIDING	1
	1.1	Achtergrond	1
	1.2	Probleemstelling en doelstelling	1
	1.3	Terminologie	2
	1.4	Leeswijzer	3
	1.5	Status van dit rapport	4
	1.6	Dankwoord	4
Hoofdstuk	2	KWANTITATIEVE RISICOANALYSE: HOE EN WAAROM?	5
	2.1	Opzet van een kwantitatieve risicoanalyse	5
	2.2	Gebeurtenisboom of invloedsdiagram	6
	2.3	Producten van een kwantitatieve risicoanalyse	9
Hoofdstuk	3	CASE AKZO NOBEL, WEERT	13
	3.1	Verontreinigingssituatie en saneringsvarianten	13
	3.1.1	Verontreinigingssituatie	13
	3.1.2	Saneringsvarianten	14
	3.2	Fase van de sanering en soort afweging	15
	3.3	Faalscenario's en gevolgen	15
	3.3.1	Pump & treat variant (p&t)	16
	3.3.2	Gemanipuleerde smart pump & treat variant (smart p&t)	16
	3.4	Onderbouwing van kansen	16
	3.5	Analyse	17
	3.6	Nieuwe inzichten uit KFR-analyse voor case Weert	22
Hoofdstuk	4	CASE VAN BIJLANDTSTRAAT, TILBURG	23
	4.1	Verontreinigingssituatie en saneringsvarianten	23
	4.1.1	Verontreinigingssituatie	23
	4.1.2	Saneringsvarianten	24
	4.2	Faalscenario's en gevolgen	25
	4.2.1	Pump & treat	25
	4.2.2	Stoominjectie	25
	4.3	Onderbouwing van kansen	26
	4.4	Analyse	26
	4.4.1	Pump & treat	26
	4.4.2	Stoominjectie	27
	4.5	Nieuwe inzichten uit KFR-analyse voor case Tilburg	30
Hoofdstuk	5	CASE EPON, NIJMEGEN	33
	5.1	Verontreinigingssituatie en saneringsvarianten	33
	5.1.1	Verontreinigingssituatie	33
	5.1.2	Saneringsvarianten	33
	5.2	Fase van het saneringstraject en soort afweging	34
	5.3	Faalscenario's en gevolgen	35

	5.3.1	Falen en kosten	35
	5.3.2	Faalgebeurtenissen	36
	5.4	Onderbouwing van kansen	37
	5.5	Analyse	38
	5.6	Nieuwe inzichten uit KFR-analyse voor case Nijmegen	40
Hoofdstuk	6	NUT EN NOODZAAK VAN EEN RISICOANALYSE	43
	6.1	Inleiding	43
	6.2	Selectiecriteria voor toepassing	43
Hoofdstuk	7	OVERDRACHT, TOETSING EN INPASSING VAN DE RISICO-ANALYSE IN DE BESTAANDE PRAKTIJK	47
	7.1	Inleiding	47
	7.2	Forum	47
	7.3	Inpassing van risicoanalyse in bestaande methodieken als RMK/KEV	48
	7.3.1	Inleiding	48
	7.3.2	Onzekerheden in kosten bepaald met RMK en KFR	49
	7.3.3	KFR, RMK en KEV in het afwegingsproces	50
Hoofdstuk	8	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	51
	8.1	Conclusies	51
	8.2	Aanbevelingen	52
		LITERATUUR	53
Bijlage	A	VOLLEDIGE TABELLEN EN SCHEMA'S VAN DE CASES	
Bijlage	B	OPZET VAN HET FORUM KFR 16 JUNI 1999 EN EVALUATIE	
Bijlage	C	RMK-METHODIEK	
Bijlage	D	RMK-BEOORDELING VOOR CASE AKZO NOBEL, WEERT	
	D1	Risicoreductie	
	D1.1	Uitgangspunten	
	D1.2	Resultaten	
	D2	Milieuverdienste	
	D2.1	Uitgangspunten	
	D2.2	Resultaten	
	D3	Kosten	
	D3.1	Uitgangspunten	
	D3.2	Resultaten	
	D4	RMK-afweging	

SAMENVATTING

Financiële risico's van saneringsvarianten

Bij de afweging van saneringsvarianten spelen kosten een belangrijke rol. Het verloop van een sanering is echter aan onzekerheden onderhevig, waardoor een juiste schatting van de saneringskosten vaak niet mogelijk is. Onvoorziene gebeurtenissen kunnen grote kostenoverschrijdingen tot gevolg hebben. Deze financiële risico's zijn vaak onbekend en kunnen niet worden beschouwd bij de afweging van varianten.

Een team van saneringsexperts en locatiedeskundigen is met het computerprogramma 'DATA' (<http://www.treeage.com>) in staat om financiële risico's van bodemsanering te analyseren (zie hoofdstuk 2 voor de aanpak). Tot nu vond een kwantitatieve risicoanalyse (QRA) op ad hoc basis plaats, omdat dit hulpmiddel nog niet algemeen bekend was.

In dit project is in een forum voor een breed publiek aangetoond, dat een risicoanalyse de keuze tussen saneringsvarianten in hoge mate kan ondersteunen (zie hoofdstuk 7 voor een verslag). Daartoe is de risicoanalyse toegepast op drie cases, die zich ieder in een verschillend stadium van het saneringstraject bevinden (zie hoofdstuk 3, 4 en 5 voor de uitwerking per case):

1. *Akzo Nobel in Weert*; het saneringsplan, waarin twee pump & treat alternatieven zijn uitgewerkt, is goedgekeurd.
2. *Van Bijlandtstraat in Tilburg*; bronverwijdering van CKW door middel van stoominjectie wordt afgewogen tegen voortzetting van de lopende pump & treat sanering.
3. *EPON in Nijmegen*; afweging tussen extensieve of intensieve biosparging. Op de locatie zijn reeds enkele spargingtests uitgevoerd.

Uit de reacties van het forum is gebleken, dat er behoefte bestaat aan een hulpmiddel als een risicoanalyse om de mate van het risico van kostenoverschrijding in kaart te brengen. Een QRA geeft gedetailleerde informatie over het aspect 'Kosten'. Voor een afweging tussen varianten is ook informatie over de aspecten 'Risicoreductie' en 'Milieuverdienste' noodzakelijk. Hierin voorziet een QRA voorsnog niet. De QRA is dan ook complementair aan bestaande afwegingsmethodieken, zoals RMK en KEV, die aspecten wel in beeld brengen. Het meenemen van informatie uit een risicoanalyse leidt soms tot een andere uitkomst van de afweging tussen varianten. Het forum ervoer de kwaliteit van de afweging dan ook hoger, wanneer informatie over financiële risico's werden beschouwd. Wanneer de risico's bekend zijn, kan namelijk een meer onderbouwde keuze tussen varianten worden gemaakt. Daarnaast maakt de QRA het mogelijk de belangrijkste risicofactoren te identificeren, waardoor de onderzoeksinspanning op objectieve wijze kan worden gericht.

Samenvattend kan worden gesteld dat de toepassingsmogelijkheden van een QRA legio zijn: bij saneringen wordt vaak gekampt met onzekerheden over de ondergrond, de verontreinigings-situatie en de werking van de techniek. De praktijk heeft geleerd dat bijzondere gebeurtenissen dan ook niet uit te sluiten zijn. Wanneer de verwachte impact van die gebeurtenissen groot is, kan een risicoanalyse (QRA) deze in beeld brengen. Bij toepassing van innovatieve saneringstechnieken, grootschalige saneringen en programmatisch saneren kan een QRA dan ook bijdragen aan het minimaliseren van financiële risico's door deze inzichtelijk te maken. Dit faciliteert de ontwikkeling van 'gereedschappen' waarmee deze risico's beheersbaar kunnen worden gemaakt, zoals speciale verzekeringsproducten.

SUMMARY

Financial risks of remediation projects

Costs are a determining factor when choosing between several remedial options. However, the costs estimated for a remedial option are subject to uncertainty. During a remediation several unpredicted events could cause an unexpected increase of the costs. Those financial risks are often not known and are not taken into account in the decision process.

A commercially available computer program is able to support a team of remediation experts to assess those financial risks ('DATA' <http://www.treeage.com>). Until now this approach has only sporadically been applied in the field of soil remediation. This project aims at knowledge transfer of assessing financial risks using that program. Therefore a quantitative risk assessment (QRA) has been applied to three cases, where a decision had to be made between two remedial options:

1. *Akzo Nobel at Weert*; choice between two pump & treat options.
2. *Van Bijlandtstraat at Tilburg*; source removal by steam injection or continuation of pump & treat.
3. *EPON at Nijmegen*; choice between two biosparging options.

The risk analysis of the cases has been presented to a large group of consultants, problem owners, regulators and constructors. The positive response on the presentation demonstrated the need for quantitative risk analysis as a support tool for decision making on remedial options. The QRA is a powerful tool to assess the financial risks as a result of unexpected events. A QRA provides detailed information about costs and its uncertainty and is therefore a useful tool in addition to decision support tools like 'Risk reduction', 'Environmental merit' and 'Costs' (REC). Incorporation of a QRA in the decision process sometimes results in a different outcome. Besides that, a QRA enables us to identify the key factors determining the financial risks. Risks can be minimized by additional research on those factors.

Large-scale application of QRA for soil remediation is likely: during a remediation project unexpected events are often encountered due to uncertainty with respect to soil, contaminant situation, remediation technique and even policy. The events can cause substantial financial risks. A QRA could elucidate those risks beforehand. The effort of the QRA is worthwhile if the expected risks are large. This could be the case for large-scale and complex remediation projects (+500 k euro), for the introduction of innovative remediation technologies, and for repetitive remediation projects (same type of case). A QRA elucidates financial risks which facilitates the development of financial and assurance tools to deal with those risks.

HOOFDSTUK 1

INLEIDING

1.1 Achtergrond

In het proces van het constateren van een verontreiniging van bodem en grondwater tot het daadwerkelijk saneren of beheersen van de verontreiniging vindt op meerdere momenten een afweging tussen saneringsvarianten plaats. Een belangrijk aspect bij het afwegen van varianten is het kostenaspect. Indien risicoreductie en milieuverdienste ook worden meegewogen, kan een kosteneffectiviteit worden ingeschat van een variant. Risicoreductie ten aanzien van mens en ecosysteem is hierbij een randvoorwaarde die meestal in onderhandeling met bevoegd gezag wordt bepaald. In het nieuwe beleid wordt meer ruimte geschapen voor het afwegen van saneringsvarianten op kosteneffectiviteit. De bestaande methodieken als RMK [Nijboer et al., 1998] en KEV [Beinat et al., 1998] geven voor het kosteneffectief afwegen van saneringsvarianten geen inzicht in de onzekerheid van de kostenschattingsmethode die het gevolg is van niet direct voorziene gebeurtenissen of omstandigheden bij een sanering. Wel wordt gewerkt met een betrouwbaarheid van de kostenschattingsmethode, maar deze is opgebouwd uit onzekerheid in de voorziene en begrote individuele elementen van een saneringsvariant. Dit terwijl het verloop van een sanering vaak wordt bepaald door een groot aantal onvoorziene of niet op voorhand te kwantificeren factoren. Hierbij kan worden gedacht aan technische aspecten zoals bijvoorbeeld heterogeniteit of het zelfreinigend vermogen van de bodem, maar ook aan sociaal, politieke en beleidsmatige aspecten zoals publieke opinie of een veranderende wetgeving, of aspecten die te maken hebben met de bedrijfsvoering van een terrein.

Deze onzekerheid kan soms worden verminderd door bijvoorbeeld de bodem en de verontreinigingssituatie te karakteriseren en het gedrag van de verontreiniging als gevolg van de sanering te voorspellen. De resources om bodem en verontreiniging in kaart te brengen zijn echter beperkt. De inspanning in het minimaliseren van onzekerheden door nader onderzoek (site karakterisatie, procesonderzoek e.d.) zouden zich dan ook moeten richten op die factoren die de uiteindelijke saneringskosten het meest bepalen en die het meest onzeker zijn. Daarvoor moet wel bekend zijn welke factoren dat zijn. Verandering in beleid is zeer lastig te voorspellen, terwijl het van grote invloed op een sanering kan zijn. Juist daarom is het van belang het effect van deze onzekerheid in kaart te brengen.

Samenvattend kan worden gesteld dat, door bij de eerste afweging van varianten geen rekening te houden met onzekerheid van de kostenschattingsmethode, de kans bestaat dat niet voor de meest kosteneffectieve variant wordt gekozen. Indien tijdens het afwegingsproces, dat moet leiden tot de keuze van een saneringsvariant, rekening wordt gehouden met onzekerheid van de kostenschattingsmethode en daaruit kan worden afgeleid welke factoren deze onzekerheid in belangrijke mate bepalen, zou met een gerichte inspanning deze onzekerheid kunnen worden ingeperkt.

1.2 Probleemstelling en doelstelling

Kosten zijn een zeer belangrijk aspect bij de afweging tussen saneringsvarianten. Vaak wordt bij afwegingen niet de onzekerheid van de geschatte kosten van een saneringsvariant meegenomen, terwijl de kosten van een sanering meestal aan grote onzekerheden onderhevig zijn.

Verschillende commerciële softwarepakketten, die ontwikkeld zijn voor andere branches dan de bodemsaneringswereld, kunnen worden gebruikt om de onzekerheid bij complexe besluitvorming inzichtelijk te maken.

Op ad hoc basis vinden deze analyses toepassing in de bodemsanering. Zo hebben BdS en Golder Associates deze analyse, uitgewerkt met het programma DATA [TreeAge Software Inc., 1999], toegepast bij het afwegen van saneringsvarianten voor een verontreinigde locatie van onder andere een chemische wasserij. De toepassing van deze analyses wordt echter (nog) niet breed gedragen. Daarvoor zal eerst moeten worden aangetoond dat het meenemen van de onzekerheid van kostenschattingen een toegevoegde waarde heeft voor de afweging tussen varianten. Het draagvlak kan verder nog worden vergroot door de relatie met enkele bestaande afwegingssystematieken expliciet te maken.

Het project zou de volgende vragen moeten kunnen beantwoorden:

- Resulteert het meenemen van onzekerheden van kostenschattingen tot een wezenlijk andere uitkomst van het afwegen van saneringsvarianten?
- Is deze uitkomst beter te verantwoorden dan de oorspronkelijke uitkomst?
- Welke factoren bepalen voor het grootste deel de onzekerheid van de kostenschattings?
- Zijn deze factoren per saneringstechniek verschillend en locatie-onafhankelijk?
- Welke factoren zijn niet afhankelijk van de saneringstechniek?
- Is de onzekerheid als gevolg van deze factoren door metingen eenvoudig te reduceren en wat kosten deze metingen?
- Is het mogelijk de onzekerheid mee te nemen in bestaande afwegingssystematieken?

Het doel van het project is het vergroten van het draagvlak voor het meenemen van de onzekerheid bij kostenafwegingen tussen saneringsvarianten door middel van kennisoverdracht. Hiervoor dient de meerwaarde van het meenemen van de onzekerheid in de afweging te worden aangetoond.

1.3 Terminologie

Om begripsverwarring te voorkomen worden eerst nog enige termen op een rijtje gezet, zoals deze worden gebruikt in dit rapport:

Scenario

Tijdens de uitvoering van een sanering kunnen allerlei gebeurtenissen plaatsvinden, soms in een keten van oorzaak en gevolg. Indien na afloop van een sanering alle opgetreden gebeurtenissen worden beschreven, vormt dit verloop van de sanering een scenario.

Gebeurtenisboom

Voorafgaand aan de sanering kunnen alle gebeurtenissen die kunnen optreden worden gerangschikt in een gebeurtenisboom. De gebeurtenisboom is een ensemble van veelerlei scenario's, waarvan er één in werkelijkheid ook zal plaatsvinden. De boom geeft dus een overzicht van het mogelijke verloop van de sanering.

Risico

Dit is de verwachte kans dat alternatieve gebeurtenissen optreden vermenigvuldigd met het gekwantificeerde gevolg. Indien het bijvoorbeeld Mf 9 kost om een groeiende pluim te beheersen en de kans op het groeien van de pluim wordt ingeschat op 0,4, is het risico Mf $0,4 \cdot 9 = \text{Mf } 3,6$.

Kosten-kansencurve

Indien kansen en gevolgen worden gekwantificeerd in een gebeurtenisboom, kunnen van alle scenario's kostenrisico's worden berekend. De cumulatieve kostenrisico's vormen samen een risicocurve van de te verwachten kosten van een saneringsvariant: de kosten-kansencurve.

Kwantitatieve risicoanalyse

Het maken van een kosten-kansencurve voor saneringsvarianten, die rekening houdt met onvoorzien gebeurtenissen, vormt een kwantitatieve risicoanalyse (in dit rapport soms aangeduid met een KFR-analyse).

Risicoreductie

In dit rapport wordt hieronder het verkleinen van humane en ecotoxicologische risico's verstaan (de eerste letter van de 'RMK'-methodiek). Financiële risico's kunnen ook worden gereduceerd door inzicht te krijgen in onzekere factoren die het verloop van een sanering beïnvloeden.

1.4 Leeswijzer

Met dit rapport wil het consortium inzicht geven in de meerwaarde van het gebruik van een kwantitatieve risicoanalyse bij de ondersteuning van de keuze tussen saneringsvarianten. Daartoe zal de methode van de kwantitatieve risicoanalyse worden toegelicht en zal de toepassing van deze methode op drie cases, in verschillende stadia van de saneringsaanpak, worden beschreven:

1. *Akzo Nobel in Weert*, het saneringsplan, waarin twee pump & treat alternatieven zijn uitgewerkt, is goedgekeurd.
2. *Van Bijlandtstraat in Tilburg*; bronverwijdering van CKW door middel van stoominjectie wordt afgewogen tegen voortzetting van de lopende pump & treat sanering.
3. *EPON in Nijmegen*; afweging tussen extensieve of intensieve biosparging. Op de locatie zijn reeds enkele spargingtests uitgevoerd.

Doordat de cases zich in zeer verschillende stadia van het saneringstraject bevinden, is het niveau waarop de alternatieven zijn uitgewerkt ook zeer verschillend: van volwaardige, gedetailleerd uitgewerkte alternatieven tot het eerste aftasten van de haalbaarheid van een nieuwe techniek, zoals stoominjectie.

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de kwantitatieve risicoanalyse zelf. Hierin worden de achtergronden beschreven, *wanneer en door wie de methode kan worden toegepast en welke informatie daarvoor nodig is*. Tevens wordt een indruk gegeven van de mogelijkheden die het computerprogramma DATA biedt om zo'n risicoanalyse uit te werken. De kracht van het programma zijn de uitgebreide analysemogelijkheden.

In hoofdstuk 3, 4 en 5 komt de risicoanalyse van de drie cases aan bod. Gekozen is om de analyse van de cases in afzonderlijke hoofdstukken toe te lichten, omdat de meerwaarde van de kwantitatieve risicoanalyse uit de ervaring met 'real world' cases het beste naar voren komt. Gegevens en gedetailleerde toelichting ter onderbouwing van de analyse is, indien nodig, echter opgenomen in bijlagen.

In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op het nut en de noodzaak van een risicoanalyse. Ook wordt ingegaan op de selectiecriteria die kunnen worden aangehouden voor de toepassing. Dit wordt verduidelijkt voor een aantal toepassingscategorieën, zoals innovatieve saneringen, grootschalige saneringen, enzovoorts.

In hoofdstuk 7 wordt verslag gedaan van het forum, waarin de resultaten van één van de drie cases is teruggekoppeld naar een breed publiek van adviseurs, bevoegd gezag en probleem-eigenaren. Voor die case is een RMK-analyse uitgewerkt (Risicoreductie, Milieuverdienste en Kosten), omdat bij een afweging ook aspecten als milieuverdienste en risicoreductie een rol spelen. Deze uitwerking is terug te vinden in bijlage D.

In dit hoofdstuk wordt ook geschetst welke positie een kwantitatieve risicoanalyse kan innemen in andere beslisondersteunende projecten/systemen, zoals RMK en Kosteneffectief Verwijderen van mobiele verontreinigingen (KEV).

In hoofdstuk 8 worden de conclusies samengevat en worden aanbevelingen gedaan.

1.5 **Status van dit rapport**

Het doel van dit rapport is het presenteren van de mogelijkheden die een risicoanalyse met zich meebrengt. De meest aansprekende manier om dit te doen is via praktijkcases een uitwerking te geven. De drie cases zijn in dit project derhalve primair gekozen om een methodiek te helpen illustreren; het kan zeker zijn dat het voor de inhoudelijke uitwerking van de case nog geen eind-product betreft of dat er nog verdere nuancering moet plaatsvinden die niet meer binnen de scope van dit project valt.

1.6 **Dankwoord**

Tijdens de uitvoering van het project is specifieke medewerking verleend bij de uitwerking van de cases:

- EPON in Nijmegen door drs. C.C.D.F. van Ree van GeoDelft;
- Van Bijlandtstraat in Tilburg door dr. G. Heron van SteamTech Env. Serv. Inc..

Hierbij bedankt het consortium hen voor de geleverde inzet en kennis voor het KFR-project.

HOOFDSTUK 2

KWANTITATIEVE RISICOANALYSE: HOE EN WAAROM?

2.1 Opzet van een kwantitatieve risicoanalyse

Er zijn in de opzet van een kwantitatieve risicoanalyse vijf stappen te onderscheiden:

1. identificeren van faalgebeurtenissen per variant;
2. ordening van gebeurtenissen tot faalscenario's;
3. toekenning van kansen van faalgebeurtenissen;
4. kwantificering van gevolgen van faalgebeurtenissen;
5. analyse van de afweging van de varianten.

Stap 1

Het identificeren van faalgebeurtenissen wordt vaak gedaan in een brainstormachtige sessie met betrokken experts en generalisten. Een juiste mix van deze personen draagt hierbij in belangrijke mate bij aan een goed resultaat. Een andere belangrijke factor die het resultaat bepaalt, is de mate waarin voor een brainstormsessie door het 'kernteam' dat de risicoanalyse begeleidt en uitwerkt voorwerk verricht is (kunnen worden) in de zin dat:

- de alternatieven helder en tot op eenzelfde niveau zijn uitgewerkt, gerelateerd aan de op dat moment geldende saneringsfase en aard van de afweging;
- zoveel mogelijk vooridentificatie van gebeurtenissen heeft plaatsgevonden, zodat tijdens de brainstormsessie actief kan worden geselecteerd welke van belang zijn en welke niet.

Tijdens de bijeenkomst met betrokkenen worden de al onderkende gebeurtenissen getoetst en nieuwe gebeurtenissen geïdentificeerd.

Stap 2

Vervolgens worden de gebeurtenissen geordend tot faalscenario's door het kernteam en door middel van een kwalitatieve beschouwing geanalyseerd welke gebeurtenissen mogelijk kritisch zijn en hoe deze de risico's van de varianten kunnen bepalen.

Stappen 3 en 4

De kwantificering van kansen en gevolgen kan eveneens in een sessie met betrokken experts en generalisten worden gedaan. Afhankelijk van de saneringsfase kan het een waardevolle aanvulling zijn deze getallen op een meer gedetailleerde manier uit te rekenen in plaats van hiervoor een eerste indicatieve schatting te nemen. Zo kan de kans op en het gevolg van verspreiding van verontreiniging bij natuurlijke afbraak als variant worden gesimuleerd met een computermodel. Hiervoor wordt de bandbreedte in de mogelijke verspreiding berekend uit een bandbreedte van afbraak-gerelateerde parameters. Ook kunnen de kosten van een mogelijke kritieke zuiveringsstap nader worden gespecificeerd met de aannemer/leverancier. Of en in welk stadium van de afweging een meer gedetailleerdere invulling van kansen en kosten plaatsvindt, hangt af van: de ervaring en expertise van de groep, de mogelijkheden en kosten om dit te doen en de toegevoegde waarde van de kosten-kansencurve. In hoofdstuk 6 wordt hierop teruggekomen.

Stap 5

Het zichtbaar maken van de kosten-kansencurve en de belangrijkste factoren die hierin een rol spelen kan onder andere worden ondersteund door het commercieel verkrijgbare programma DATA [TreeAge Software Inc., 1999], dat gebruikt wordt bij de uitwerking van de analyse. Bij de

toetsing van de faalscenario's aan de deelnemers van de sessie is het belangrijk dat duidelijk wordt gemaakt 'waar de schoen wringt' en dat hierop gericht eventuele acties worden ondernomen, die worden gedragen door de betrokken groep.

Relatie met het 'plan-do-check cyclus bodemsanering'

In de inleiding is al aangegeven dat de drie gepresenteerde cases in dit rapport zich in zeer verschillende stadia van het saneringstraject bevinden, waardoor het uitwerkingsniveau ook zeer verschillend is: van het afwegen van volwaardige, gedetailleerd uitgewerkte alternatieven tot het eerste aftasten van de haalbaarheid van een nieuwe techniek, zoals stoominjectie. Dit niveauverschil is door het consortium bewust in het project gebracht om de bruikbaarheid van de methodiek op verschillende momenten van afwegen te illustreren en niet alleen bij het afwegen van zeer goed uitgewerkte varianten. Uit het feit dat de methodiek in verschillende fases van afweging kan worden ingezet, blijkt dat de methodiek makkelijk in te bedden is in het 'saneringsproces', dat duidelijk een cyclisch karakter kent. In De Wit et al. [1999] en Hetterschijt et al. [1999] is dit proces omschreven als een 'plan-do-check' cyclus, die op verschillende momenten doorlopen wordt (inventarisatie van varianten, variantkeuze, saneren, evalueren). De methodiek biedt inzicht in kritieke factoren. Deze kunnen vaak door middel van gericht onderzoek worden weggenomen of gereduceerd. Een KFR-analyse stuurt daarmee het ontwerpproces van een sanering. Door de analyse desnoods één of meerdere keren te herhalen, wordt tot een kosteneffectieve sanering gekomen.

Kwantitatieve risicoanalyse binnen het KFR-project

De werkwijze, die gevolgd is bij de uitwerking van de drie cases, is als volgt geweest:

- inventarisatie van de beschikbare gegevens over de saneringsvarianten en verwerking hiervan tot een gecondenseerde beschrijving, die bruikbaar is voor de brainstormsessie;
- per case een brainstormsessie van één dagdeel met ongeveer 10 personen over faalgebeurtenissen (een aantal direct betrokkenen bij de case, zo nodig een externe inhoudelijke expert, uitvoerende expertise en consortiumleden);
- per case een tweede brainstormsessie van ongeveer één dagdeel waarin kansen en gevolgen zijn gekwantificeerd, voorbereid door het uitvoerend consortium;
- bilaterale terugkoppeling over en invulling van expliciete gebeurtenissen tussen direct betrokkenen en eventuele experts.

Een aantal verschillen met de (gewenste) praktijksituatie zijn hierbij aan te geven:

- Organisatorisch: in de brainstormgroep moest de methodiek én de cases worden geïntroduceerd doordat ook niet direct bij de cases betrokken personen aanwezig waren (doelstelling is immers verbreiding van de methodiek en niet in eerste instantie volledige uitwerking van de cases). Hierdoor onstond een afweging tussen het gebruik van tijd om helderheid te verschaffen aan het consortium en tijd die nodig is voor het eigenlijke invullen van de gebeurtenisboom.
- Het KFR-project is niet ingebed geweest in de projecten achter de cases maar steekt op een bepaald moment in, waardoor moest worden gewerkt met niet altijd evenwichtige verdeelde informatie over de saneringsvarianten per case. Er is ook geen mogelijkheid geweest aspecten in detail uit te werken of nader te kwantificeren met onderbouwende tools; dit geldt ook voor terugkoppeling naar/van de gehele betrokken groep (missen van het kunnen 'vooruitkijken en bijstellen').

2.2 Gebeurtenisboom of invloedsdiagram

Een vorm om een faalgebeurtenis weer te geven is met een gebeurtenisboom. Een gebeurtenis met twee verschillende uitkomsten wordt dan weergegeven door een 'takje' met twee vertak-

kingen. In figuur 1 is als voorbeeld voor een fictieve case de faalgebeurtenis 'damwand lek' voor een isolatievariant van een vuilstort weergegeven. De vuilstort wordt geïsoleerd door grondwater onder de stort te onttrekken en de huidige infiltratiesituatie in een kwelsituatie te veranderen. Een damwand om de stort tot op een kleilaag moet een al te grote toestroom van water voorkomen.

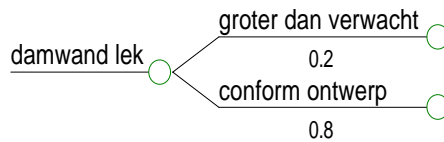


Fig. 1. Faalgebeurtenis 'damwand lek'.

De uitkomst van deze gebeurtenis kan zijn dat de lekkage significant groter is dan waarmee rekening is gehouden bij het ontwerpdebiet van onttrekkingen die een kwelsituatie moeten handhaven (groter dan verwacht). Een andere uitkomst is dat de lekkage niet groter is dan was verwacht (conform ontwerp). Bij de uitkomsten staan ook de verwachte kansen dat de gebeurtenis optreedt. Het open rondje geeft weer dat het een gebeurtenis betreft met een bepaalde kans.

Wat is nu het gevolg van een grotere lekkage van de damwand dan verwacht? Omdat deze analyse betrekking heeft op 'blootstellingsrisico's', moet worden geëvalueerd of lekkage uiteindelijk tot blootstelling aan stoffen vanuit de vuilstort kan leiden. Een grotere lekkage van de damwand kan een verhoogde waterflux de stort in tot gevolg hebben. Dit hoeft geen probleem te zijn zolang de totale flux de stort in, het volume dat wordt onttrokken niet overschrijdt (de onttrekking kan namelijk overgedimensioneerd zijn). Voordat lekkage van de damwand de kwelsituatie kan veranderen, moet de waterflux de stort in groter zijn dan de onttrekkingen kunnen behappen. Dit is weergegeven in figuur 2 door een extra takje toe te voegen voor deze gebeurtenis (waterflux in groter).

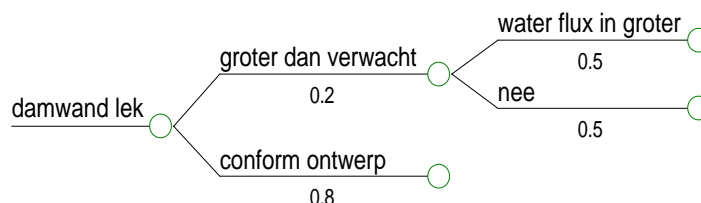


Fig. 2. Extra faalgebeurtenis 'waterflux in groter' dan onttrekkingen.

Nu hoeft een toename van de waterflux de stort in als gevolg van een lekke damwand niet direct een omslag van de kwelsituatie in een infiltratiesituatie te betekenen. Stel dat de stijghoogte in de stort wordt bewaakt door een regelsysteem. Pas als dit systeem faalt, slaat de kwelsituatie om in een infiltratiesituatie (bewaking faalt). Dit is weergegeven in figuur 3.

Verder valt in figuur 3 op dat de uiteinden van de takjes driehoekjes zijn geworden. Deze geven het gevolg van een aaneenschakeling van faalgebeurtenissen ofwel een faalscenario weer. Drie takjes eindigen op 0. Hiermee wordt aangegeven dat de concentratie die in het grondwater dat opkwelt in het gebied rondom de stort 0 is. Eén scenario leidt wel tot opkwellen van verontreinigd grondwater. De concentratie van het water is als voorbeeld op 100 µg/l gesteld. De kans dat dit scenario optreedt kan worden berekend door de kansen van de gebeurtenissen te vermenigvuldigen.

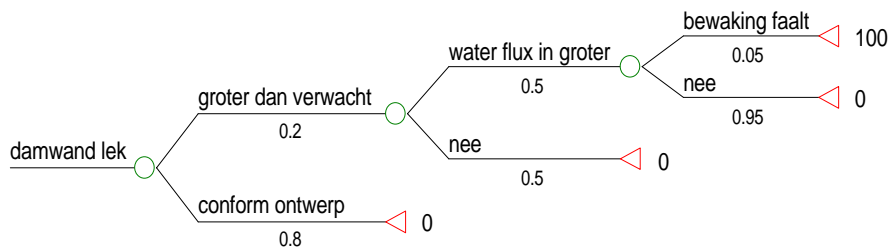


Fig. 3. Extra faalgebeurtenis 'bewakingssysteem'.

De gebeurtenissenbomen van varianten kunnen erg uitgebreid worden. Waarom de bomen uitgebreid kunnen worden, is het best weer te geven door een voorbeeld te nemen met 3 knooppunten A, B en C, waarbij de gebeurtenissen wel, niet of onzeker kunnen optreden (zie fig. 4).

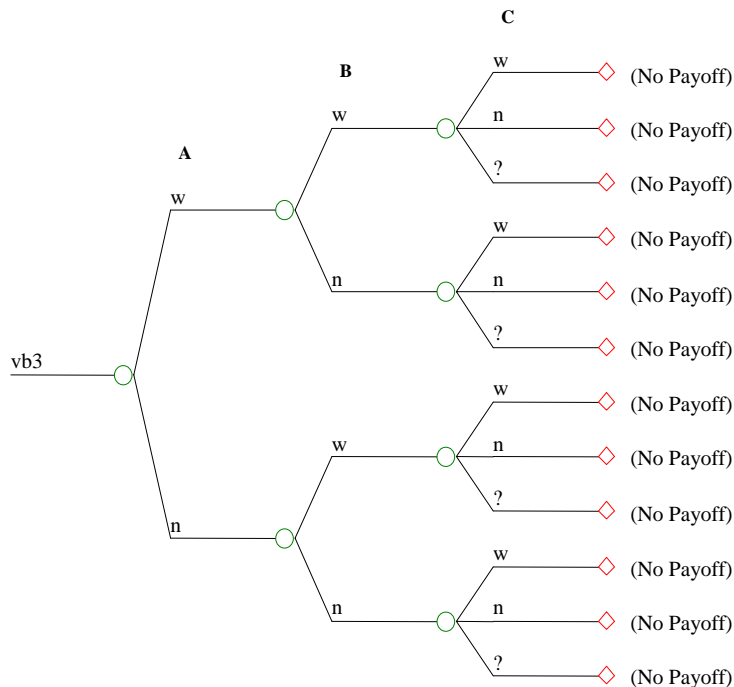


Fig. 4. Voorbeeld van een gebeurtenisboom met drie knopen.

Het aantal mogelijke scenario's in deze boom bedraagt $2 \cdot 2 \cdot 3 = 12$ scenario's (takken van begin tot eind). Bij een symmetrische gebeurtenisboom groeit het aantal scenario's exponentieel met het aantal knopen of gebeurtenissen.

Binnen het programma DATA bestaat ook de mogelijkheid om de gebeurtenisboom in de vorm van een zogenoemd *invloedsdiagram* weer te geven. Voor het voorbeeld van figuur 4 zou dit er uitzien zoals is weergegeven in figuur 5.

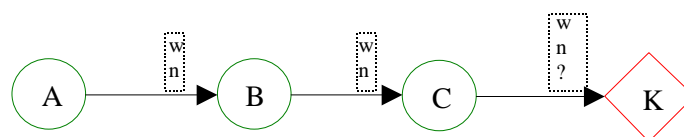


Fig. 5. Invloedsdiagram van een gebeurtenisboom met 3 knopen.

De knopen zijn weergegeven met een cirkel; mogelijke gebeurtenissen volgend uit de knopen staan in een box erbij; de volgorde van gebeurtenissen in een boom wordt met pijlen aangegeven. De einduitkomst (kosten) wordt met de ruit weergegeven. Binnen DATA bestaat de mogelijkheid om een invloedsdiagram, dat eenvoudiger is op te bouwen, te transformeren in een gebeurtenisboom.

Case Akzo Nobel (zie hoofdstuk 3) wordt gepresenteerd in de vorm van een invloedsdiagram. Case Tilburg en EPON (zie hoofdstuk 4 en 5) worden in de vorm van gebeurtenisbomen gepresenteerd.

2.3 Producten van een kwantitatieve risicoanalyse

Zoals in de probleemstelling al is opgemerkt, wordt bij de afweging tussen saneringsvarianten gebruik gemaakt van kengetallen voor bepaalde afwegingsaspecten. Meestal worden hiervoor de kosten van de sanering genomen. Toch is deze informatie voor een afweging vaak niet voldoende. Naast de informatie dat variant A 2 miljoen gulden zou kosten en variant B 7 miljoen gulden, wil men voor de afweging ook graag weten wat de onzekerheid van deze schatting is. De kosten-kanscurve is dan ook een éérste (hoofd)product van de risicoanalyse. Figuur 6 laat zien dat, hoewel variant A ogenschijnlijk 5 miljoen gulden goedkoper is dan variant B, er bij variant A nog een niet te negeren kans bestaat dat de saneringskosten veel duurder uitvallen (ook wel aangeduid met de term 'downside financial risks'). Bij een afweging tussen varianten kan nu het risico worden genomen op deze overschrijding en gokken op de grote kans dat de variant goedkoper uitvalt. Er kan ook voor zekerheid worden gekozen en de duurdere variant B uitvoeren.

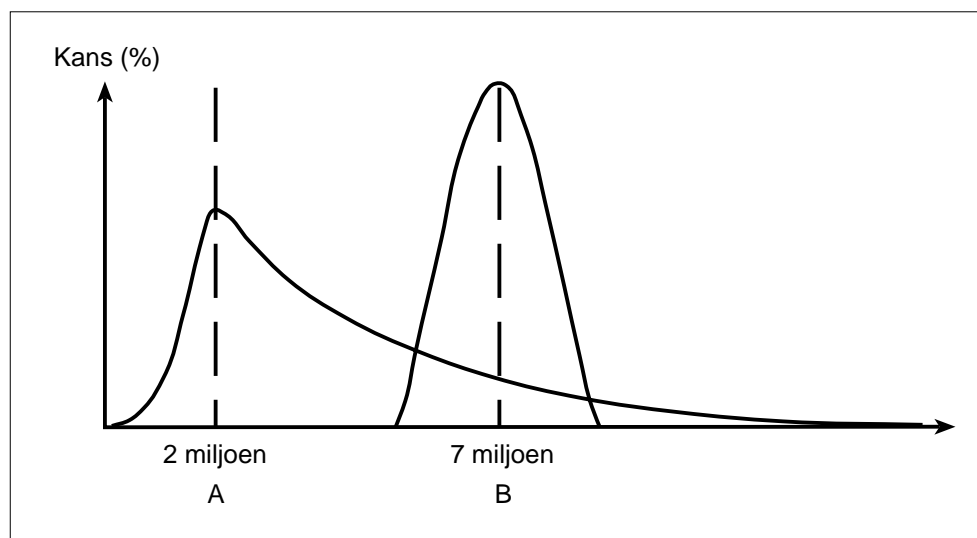


Fig. 6. Kosten-kanscurven van de hypothetische saneringsvarianten A en B.

Om welke risico's gaat het dan en wat verstaan we onder risico's? Uit figuur 6 kan al worden afgeleid dat onder risico's de kans op een bepaald gevolg wordt verstaan. In figuur 6, waar financiële risico's van twee varianten zijn weergegeven, gaat het om de kans op bepaalde saneringskosten¹. Hoewel dit project gericht is op financiële risico's, kan een kwantitatieve risicoanalyse

¹ Risico's hoeven daarbij niet altijd 'negatief' te zijn. Wellicht zijn in de gebeurtenisboom gebeurtenissen opgenomen die kostenverlagend werken.

worden toegepast op andere risico's, zoals veiligheidsrisico's, bedrijfsmatige en juridische risico's en andere.

Van belang is dat de gevolgen van falen die resulteren in risico's te kwantificeren zijn in één grootte. Het vertalen van gevolgen in extra kosten ligt voor de hand, maar ook zouden gevolgen kunnen worden gekwantificeerd in de verwachte concentratie van toxische stoffen in grondwater, oppervlaktewater en bodem, via welke de mens kan worden blootgesteld boven het niveau van het Maximaal Toelaatbaar Risico (MTR).

Naast het ondersteunen van een op risico's gebaseerde afweging, biedt de analyse waarvan figuur 6 het eindproduct is ook nog veel andere voordelen. De kans op overschrijding van de verwachte saneringskosten komt voort uit het falen van installaties, maatregelen en afspraken die gezamenlijk de saneringsaanpak vormen. Dit betekent dat de saneringsaanpak is beschreven in faalgebeurtenissen van deze installaties, maatregelen en afspraken en dat de onderlinge afhankelijkheid is vastgelegd in de vorm van een zogenoemde gebeurtenisboom.

Omdat ook het belang van de installaties, maatregelen en dergelijke verkend is, en de kans en de gevolgen op deze gebeurtenissen zijn bepaald, kunnen de meest kritische 'onderdelen' van de saneringsaanpak worden geïdentificeerd op een objectieve wijze. Identificatie van kritische onderdelen biedt de mogelijkheid het risico van falen van kritische onderdelen te reduceren door gericht onderzoek. Identificatie van kritische factoren - een belangrijk product van de risicoanalyse - vindt plaats door het effect van de bandbreedte (van kosten en kansen) per factor afzonderlijk te visualiseren of van alle (belangrijke) factoren gezamenlijk weer te geven in een zogenoemd '*Tornado-diagram*'.

Figuur 7 geeft een Tornado-diagram als resultaat van een gevoeligheidsanalyse weer. De kans op het optreden van gebeurtenissen en de bijbehorende kosten zijn hier gevarieerd binnen een aannemelijke range. Rechts van de figuur staat een lijstje met de factoren en de bijbehorende range van de factoren. In het Tornado-diagram zijn de variabelen van boven naar onder met afnemend belang gerangschikt. Zo kan het belang van het optreden van gebeurtenissen voor de saneringskosten inzichtelijk worden gemaakt. De bovenste variabelen 'pfe', 'NCW1' en 'kmppep' hebben de grootste invloed op de saneringskosten die op de x-as staan. Deze variabelen bepalen 5 miljoen gulden in de mogelijke spreiding van de kosten. Het gaat hier om een sanering, waarbij men een verontreiniging wil beheersen door grondwater te onttrekken. Dit water moet na zuivering weer worden geïnfiltrerd. Pfe staat dan ook voor de kans dat de infiltratieputten verstopten door neerslag van ijzer en NCW1 en kmppep hebben te maken met de te maken kosten indien verstopping optreedt.

Wellicht was er al verwacht dat verstopping een kritische gebeurtenis zou zijn. De toegevoegde waarde van een kwantitatieve risicoanalyse is nu dat de mate ervan wordt gekwantificeerd en dat andere gebeurtenissen, die voor de analyse als even kritisch zijn ingeschat, nu als minder relevant worden ervaren.

Indien kritieke paden duidelijk zijn, is het van belang na te gaan wat er kan worden gedaan om een bepaald risico af te dekken. Aansluitend aan het genoemde voorbeeld kan de vraag worden gesteld: stel dat exact bekend zou zijn of infiltratie een probleem is of niet, hoe ziet de kostenkansencurve er dan uit (er valt 8 miljoen gulden aan spreiding weg)? Wat mag worden besteed aan onderzoek of het verkrijgen van additionele informatie, zodat netto naar verwachting nog winst wordt gemaakt? Deze laatste vraag over besteding aan onderzoek kan worden beantwoord door de zogenoemde '*expected value of perfect information*' te bepalen. Hiermee levert DATA weer een belangrijk product, dat beslissingen over het nut en de noodzaak van additioneel onderzoek ondersteunt.

Andere producten, die zinvol kunnen zijn maar hier niet worden besproken, zijn:

- bepaling van de 'pay-off' voor één parameter;
- Monte Carlo-analyse als hulpmiddel om effecten van onzekerheden in kansen en gevolgen op de kosten-kansencurve zichtbaar te maken;
- indien beslissingen deel uitmaken van de gebeurtenisboom kan met DATA worden bepaald welke keten van beslissingen het meest kosteneffectief is.

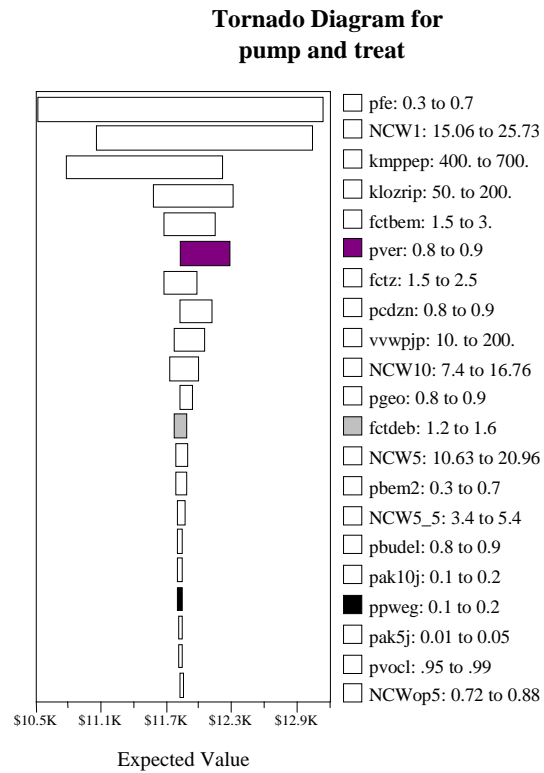


Fig. 7. Gevoeligheidsanalyse (Tornado-diagram).

CASE AKZO NOBEL, WEERT

3.1 Verontreinigingssituatie en saneringsvarianten

3.1.1 Verontreinigingssituatie

Het voormalige bedrijfsterrein van Akzo Nobel te Weert is verontreinigd met gechloreerde koolwaterstoffen, zoals tetrachloormethaan, chloroform en trichloorethyleen, en fluorokoolwaterstoffen (zie fig. 8, naar [Bakker, 1996; Boode en Bakker 1997]). De maximale concentraties zijn dermate hoog dat puur product mag worden verwacht, verspreid over het bedrijventerrein (ongeveer 200 x 200 m²).

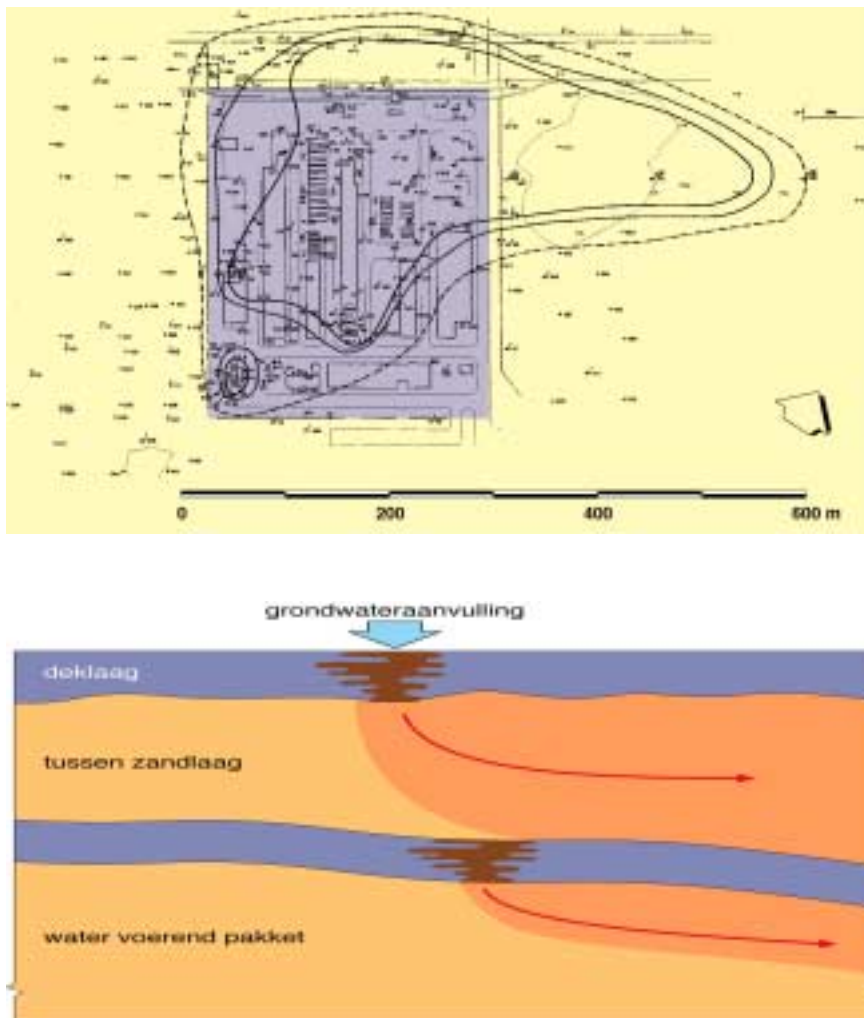


Fig. 8. Verontreinigingssituatie in vogelvlucht (a) en dwarsprofiel (b).

Vermoed wordt, dat afbraak van tetrachloormethaan bij chloroform als tussenproduct stopt [Hetterschijt en Te Stroet, 1998b]. Hierom en vanwege de omvang van het probleem is in situ sanering door middel van pump & treat de enige financieel haalbare saneringsoptie. In feite is het onderscheid tussen saneren en beheersen voor deze case niet goed te maken, omdat ervan wordt uitgegaan, dat het systeem over een periode van ten minste 30 jaar werkzaam zal zijn.

De ondergrond op de locatie bestaat van 0 - 5 m uit een deklaag van leemhoudend zand, waar- onder zich tot 100 m beneden het maaiveld een watervoerende laag van grof, grindhoudend zand bevindt (zie fig. 8). Op de locatie bevindt zich tussen 17 en 20 m beneden het maaiveld een kleilaag die het watervoerende pakket in twee aparte pakketten opdeelt: de 'tussenzandlaag' en het 'eerste watervoerende pakket'. De kleilaag heeft beperkte laterale verbreiding.

De bulk van de verontreiniging bevindt zich in de lemige deklaag en de tussenzandlaag, maar is ook aangetroffen bovenin het onderliggende watervoerende pakket.

De transmissiviteit van de deklaag is geschat op $5 \text{ m}^2/\text{d}$, die van de tussenzandlaag is geschat op $150 \text{ m}^2/\text{d}$ en die van het watervoerende pakket is geschat op $1840 \text{ m}^2/\text{d}$. De weerstand tussen de tussenzandlaag en het eerste watervoerende pakket bedraagt 1000 tot 3000 dagen mits de kleilaag aanwezig is. De grondwaterstroming in het gebied van de Centrale Slenk is zowel in de tussenzandlaag als in het watervoerende pakket daaronder noord tot noordnoordoostelijk gericht. Het gebied is een infiltratiegebied. Anderhalf à twee km ten noorden van het bedrijfsterrein bevindt zich een beheerssysteem van Budelco, dat de lokale grondwaterstroming beïnvloedt. De natuurlijke grondwaterstroming wordt door dit systeem nog vergroot. Zowel het grondwater in de tussenzandlaag als in het watervoerende pakket is verontreinigd en er is een pluim ontstaan in de stromingsrichting van enkele honderden meters lengte.

3.1.2 Saneringsvarianten

In het saneringsplan wordt voorzien, dat de verontreiniging in bodem en grondwater wordt beheerst door middel van een zogenaamd 'pump & treat systeem'. Het **saneringsdoel** is het verder voorkomen van verspreiding van de pluim en niet in eerste instantie een massaverwijdering. De **saneringsduur** is in principe oneindig. Het verontreinigde grondwater wordt onttrokken met een debiet, dat minimaal nodig is om de verontreiniging bij de natuurlijke stromingssituatie te kunnen beheersen.

Er zijn twee hoofdvarianten onderscheiden (zie fig. 9):

1. Benedenstrooms onttrekken van $420 \text{ m}^3/\text{d}$ en infiltratie van 50 % van het tot 2 ppb gezuiverde grondwater bovenstrooms (2 maal 1 put), zodat een hydrologisch geïsoleerde zone ontstaat (**eivorm**) op de verontreinigde locatie; de andere 50 % van het onttrokken en gezuiverde grondwater wordt geloosd op het oppervlaktewater. Deze variant wordt verder de 'pump & treat' variant genoemd.
2. Bovenstrooms onttrekken van de achtergrondstroming (totaal ongeveer $500 \text{ m}^3/\text{d}$ schoon grondwater) en infiltratie benedenstrooms (2 maal 4 putten) van 100 % van het onttrokken water, zodat een **stagnante zone** ontstaat op de verontreinigde locatie; in de stagnante zone wordt met behulp van maatwerk volgens het 'smart pump & treat' principe onttrokken (8 putten met totaal $72 \text{ m}^3/\text{d}$) en na zuivering geloosd op het oppervlaktewater. Deze variant wordt verder de 'gemanipuleerde smart pump & treat' variant genoemd.

De zuivering van het onttrokken grondwater bestaat uit ontijzering, strippen (tetra en chloroform) en verwijdering van zware metalen (Cd/Zn).

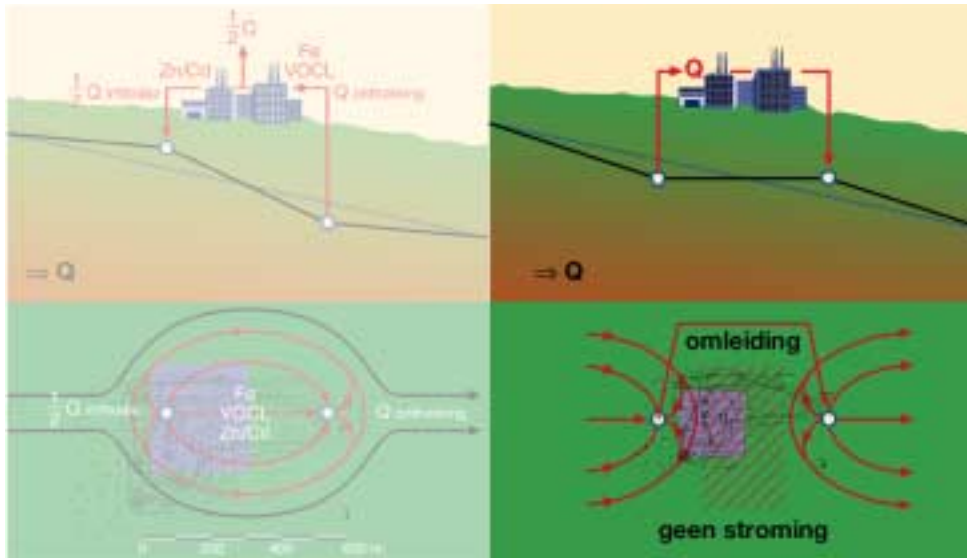


Fig. 9. Saneringsvarianten Akzo Nobel te Weert (licht: p&t; donker: gemanipuleerde smart p&t).

3.2 Fase van de sanering en soort afweging

Voor de locatie is na een reeks van karakteriserende onderzoeken een saneringsplan uitgewerkt, waarin de genoemde varianten zijn beschreven. Op dit moment is aan het saneringsplan goedkeuring gegeven door het bevoegd gezag. De verwachte kosten van de p&t variant bedragen Kf 7870 en die voor de gemanipuleerde smart p&t variant Kf 6605 (Kf 2690 voor manipulatie en Kf 3915 voor sanering van de hot spots door middel van smart p&t). In het saneringsplan heeft de gemanipuleerde smart p&t variant de voorkeur vanwege dit (geringe) kostenvoordeel en een hoger milieurendement (grotere vrachtverwijdering en geringere verlaging van de grondwaterstand doordat netto minder wordt onttrokken). Feitelijk berusten deze voorkeuren op de resultaten van een eerste haalbaarheidsstudie, terwijl de p&t variant daarentegen volledig is uitgeëngineerd. Dit verschil in status in uitwerking brengt de vraag met zich mee of de voorkeur voor de gemanipuleerde smart p&t variant geen extra risico's op financiële tegenvallers of onuitvoerbaarheid met zich meebrengt. Ter adressering van deze vraag is deze case opgenomen het KFR-project.

3.3 Faalscenario's en gevolgen

Er zijn bij deze case drie categorieën gebeurtenissen die tot verhoging van de kosten kunnen leiden:

1. Ingrepen door derden: ingrepen op de geohydrologie buiten de locatie kunnen de isolerende werking van het beheerssysteem verminderen.
2. Technische problemen: bijvoorbeeld ontijzeringsproblemen en daaraan gerelateerde verstoppingsproblemen.
3. Dimensioneringsproblemen: voor de dimensionering van beide varianten is een grondwaterstromingsmodel als basis gebruikt; 'fouten' in dit model (b.v. onzekerheden in de geologie) vertalen zich naar afwijkingen van het voorspelde gedrag en het werkelijke gedrag; de vraag is nu hoe robuust de dimensionering voor deze fouten is.

Voor de beide varianten werken onvoorziene gebeurtenissen, zoals hierboven opgesomd, verschillende door: verstoppingsproblemen spelen wellicht eerder een rol bij de p&t variant, waarbij het grondwater na de behandeling weer moet worden geïnfiltreerd (voor 50 %), dan bij de gemanipuleerde smart p&t variant waarbij in principe anaëroob weer kan worden geïnfiltreerd; de dimensionering is voor de gemanipuleerde smart p&t variant wellicht veel gevoeliger voor

fouten, omdat hier sprake is van een continue regeling van de achtergrondstroming; als toch wordt gemanipuleerd met de achtergrondstroming kunnen veranderingen door derden wellicht beter worden opgevangen binnen de grenzen van het dan bestaande ontwerp van de hardware; enzovoorts. Op voorhand van de invulling van de gebeurtenisbomen door het consortium zijn een aantal 'faalgebeurtenissen' per variant op een rijtje gezet. Een kort overzicht is per variant weergegeven in de volgende twee paragrafen (zie 3.3.1 en 3.3.2).

3.3.1 *Pump & treat variant (p&t)*

- Optreden van putverstopping doordat niet goed is ontijzerd of door neerslag van ijzer rondom het injectiefilter. Bepalend hiervoor is de hoeveelheid ijzer in het grondwater.
- Geen goede beheersing van de verontreinigde zone door verkeerde dimensionering. Mogelijke factoren die hierin een rol kunnen spelen zijn: onzekerheid van de geologie, grondwateraanvulling en onttrekkingsverandering door Budelco.
- Geen goede beheersing door onbetrouwbaarheid van het systeem (uitval van pompen en veranderend debiet).
- Dynamiek van het grondwatersysteem veroorzaakt mogelijk lekkage (met name variatie van de grondwateraanvulling en van de achtergrondstroming).
- Is strippen robuust genoeg om een zuivering tot 2 pbb te garanderen of is de oorspronkelijke duurdere variant met het MPPE-systeem robuuster.

3.3.2 *Gemanipuleerde smart pump & treat variant (smart p&t)*

- Optreden van putverstopping doordat de leidingen die het grondwater omleiden niet anaëroob blijven (lekkende koppelingen e.a.).
- Geen goede instandhouding van de stagnante zone door verkeerde dimensionering. Mogelijke factoren die hierin onder andere een rol kunnen spelen zijn: onzekerheid van de geologie en grondwateraanvulling en een wijziging van de onttrekking door Budelco.
- Geen goede bewaking van de stagnante zone doordat de dynamiek van het grondwatersysteem niet is terug te koppelen naar het onttrekkingsregime.
- Lekkage van het saneringssysteem door verkeerde dimensionering.
- Lekkage van het saneringssysteem door dynamische effecten.
- Is strippen robuust genoeg om 2 pbb te garanderen of is de oorspronkelijke duurdere variant met het MPPE-systeem robuuster.

3.4 **Onderbouwing van kansen**

Voor de onderbouwing van de gebeurtenissen met bijbehorende kansen en eventuele kosten is gebruik gemaakt van een drietal brainstorm- en toetsingssessies:

1. vrije brainstormsessie van één dagdeel door het consortium, aangevuld met de site manager van Akzo (1 dagdeel); hierbij is de grove structuur van de gebeurtenisboom uitgezet, waarbij de sessie duidelijk een meer vrij, zoekend karakter had;
2. een tweede sessie van direct betrokkenen bij de site en praktijkervaring, waarbij individuele gebeurtenissen uit de eerste sessie nader onder de loep zijn genomen zodat kansen en kosten grotendeels konden worden ingevuld;
3. bilateraal overleg over afzonderlijke gebeurtenissen.

Een overzicht van alle gebeurtenissen met kansen en kosten is in bijlage A (zie tabel A1) weergegeven (dit voor volledigheid en om een indruk te geven van de eigenlijke factoren die moeten worden ingevuld; begrip van alle punten in de tabel is niet noodzakelijk). Aan de hand van tabel 1 worden als voorbeeld de eerste vijf gebeurtenissen van tabel A1 uit bijlage A besproken.

Tabel 1. Gedeelte van tabel A1 uit bijlage A met faalgebeurtenissen voor case Akzo Nobel te Weert.

variant b = beide p = p&t m = geman. smart p&t	gebeurtenistak	kansen	kosten
1. b b	putten moeten weg putten mogen blijven staan	0,1 0,9	
2. b p m	putten mogen blijven staan op Budelco-terrein niet: duurder ontwerp niet: p&t	0,9 0,1 0,1	installatiekosten installatie + factor debiet verwachte kosten conventionele sanering
3. b b	geohydrologie wordt gewijzigd door derden ongewijzigde geohydrologie	0,3 0,7	
4. p p m m	debieten verhogen nieuwe installatie debieten verhogen nieuwe installatie	0,9 0,1 0,8 0,2	factor huidig debiet installatie + factor debiet factor <i>manipulatie</i> debiet installatie + factor <i>manipulatie</i> debiet
5. p p m m	er is verspreiding verspreiding wordt beheerst er is verspreiding verspreiding wordt beheerst	0,1 0,9 0,3 0,7	
HIER IS DE TABEL AFGEKAPT, ZIE BIJLAGE A, TABEL A1			

3.5 Analyse

De gebeurtenissen in tabel 1 laten zich vertalen naar een gebeurtenisboom. Voor de eerste gebeurtenis is dit weergegeven in figuur 10: de putten die op het terrein van derden staan kunnen gedurende de sanering/beheersing weg moeten. Het invloedsdiagram van deze gebeurtenis is een bolletje met daarin de gebeurtenisnaam.

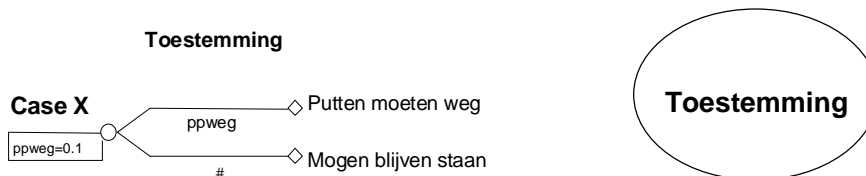


Fig. 10. 1^e gebeurtenis uit tabel 1 in gebeurtenisboom- en invloedsdiagramnotatie.

Indien de andere gebeurtenissen uit tabel 1 geleidelijk worden toegevoegd, ontstaat het totale invloedsdiagram (zie fig. 11). De gebeurtenis waarbij de geohydrologische omstandigheden wijzigen volgt na de gebeurtenis waarbij de toestemming wordt ingetrokken. Dit kan eventueel via een 'ommetje' waarbij de verplaatsing van putten binnen het Budelco-terrein kan plaatsvinden. De gebeurtenis wel/geen verspreiding volgt als derde via het 'ommetje' debieten verhogen bij wijziging van de geohydrologie. De gebeurtenisboom van de 5 gebeurtenissen in tabel 1 is weergegeven in figuur 12.

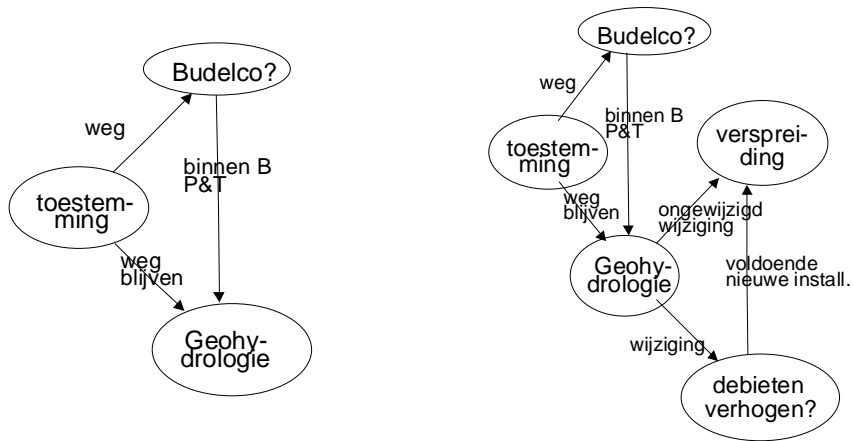


Fig. 11. Toevoegen van de 2^e en 3^e en de 4^e en 5^e gebeurtenissen aan het invloedsdiagram.

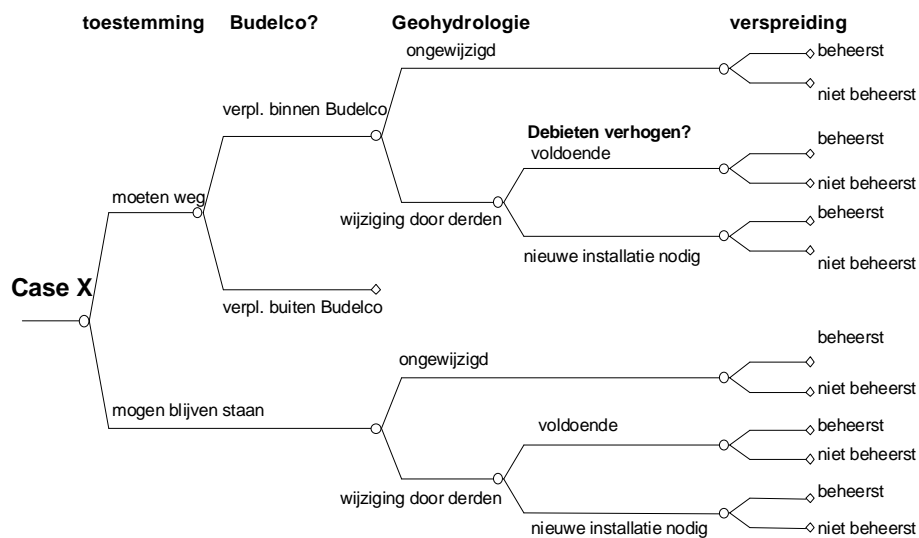


Fig. 12. Gebeurtenisboom van het invloedsdiagram in figuur 11b.

Het totale invloedsdiagram van de p&t variant is weergegeven in figuur A1 van bijlage A. Hierin zijn ook de kosten en kansen opgenomen als variabelen. Zo is op een A4 een compleet overzicht weer te geven van de gebeurtenissen, de relaties ertussen, welke variabelen hierbij een rol spelen en hoe de kostenstructuur in elkaar steekt. Het invloedsdiagram van de gemanipuleerde smart p&t variant is weergegeven in figuur A2 van bijlage A.

De boom van de gemanipuleerde smart p&t variant lijkt op de boom van de p&t variant. Verschillen zitten in de manier van tegengaan van verspreiding (herdimensionering van manipulatie- of saneringssysteem) en in de gebeurtenissen die samenhangen met putverstopping. Ook zijn uiteraard de kansen en kosten soms anders; dit is echter niet te zien in de invloedsdiagrammen in figuur A1 en A2 van bijlage A.

Een kosten-kansencurve voor beide varianten is weergegeven in de figuren 13 en 14. In beide figuren zijn meerdere toppen herkenbaar. De kosten die bij de hoogste top horen, verschillen niet veel tussen de twee varianten (rond de Kf 8000).

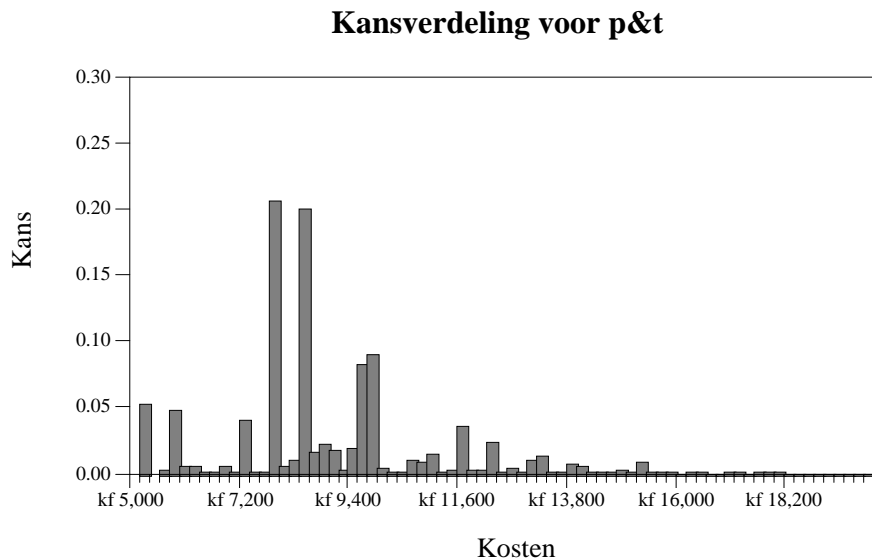


Fig. 13. Kosten-kansencurve voor de p&t variant.

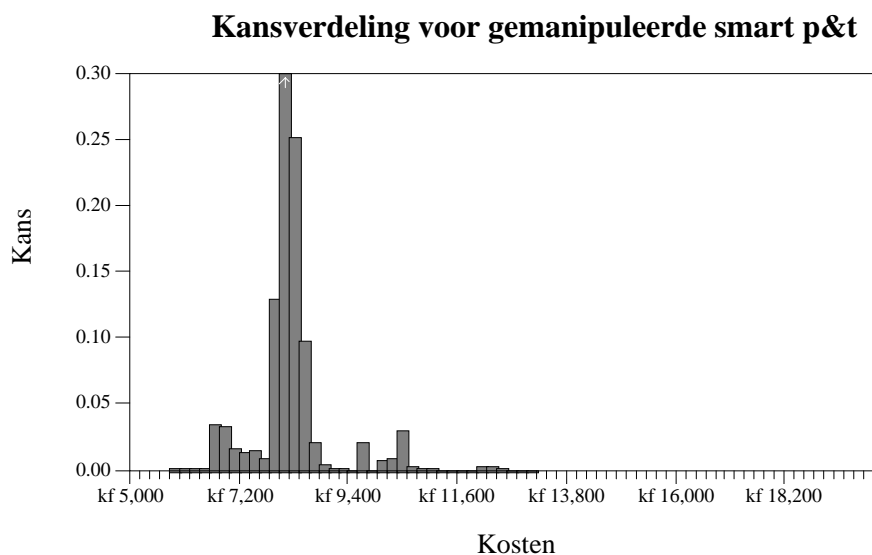


Fig. 14. Kosten-kansencurve voor de gemanipuleerde smart p&t variant.

De kansverdelingen zijn scheef naar de overschrijdingskant toe, hetgeen inhoudt dat voor beide varianten er een gerede kans bestaat dat de kosten tegenvallen.

Verder is het opmerkelijk, dat de spreiding van de p&t variant groter is dan die van de gemanipuleerde smart p&t variant, waarbij gevoelsmatig meer mis kan gaan. Inzicht in de achtergrond van dit verschijnsel wordt verkregen wanneer een systematische gevoeligheidsanalyse wordt uitgevoerd voor alle variabelen. De resultaten hiervan zijn weergegeven in figuur 15. Deze zogenoemde Tornado-diagrammen geven de mate van invloed weer van afzonderlijke factoren op de kosten; de grootte van de balk representeert de mate van invloed van de variabele rechts in de index (de gehanteerde bandbreedte van de variabele staat hier tevens bij). De belangrijkste variabelen zijn weergegeven in tabel 2.

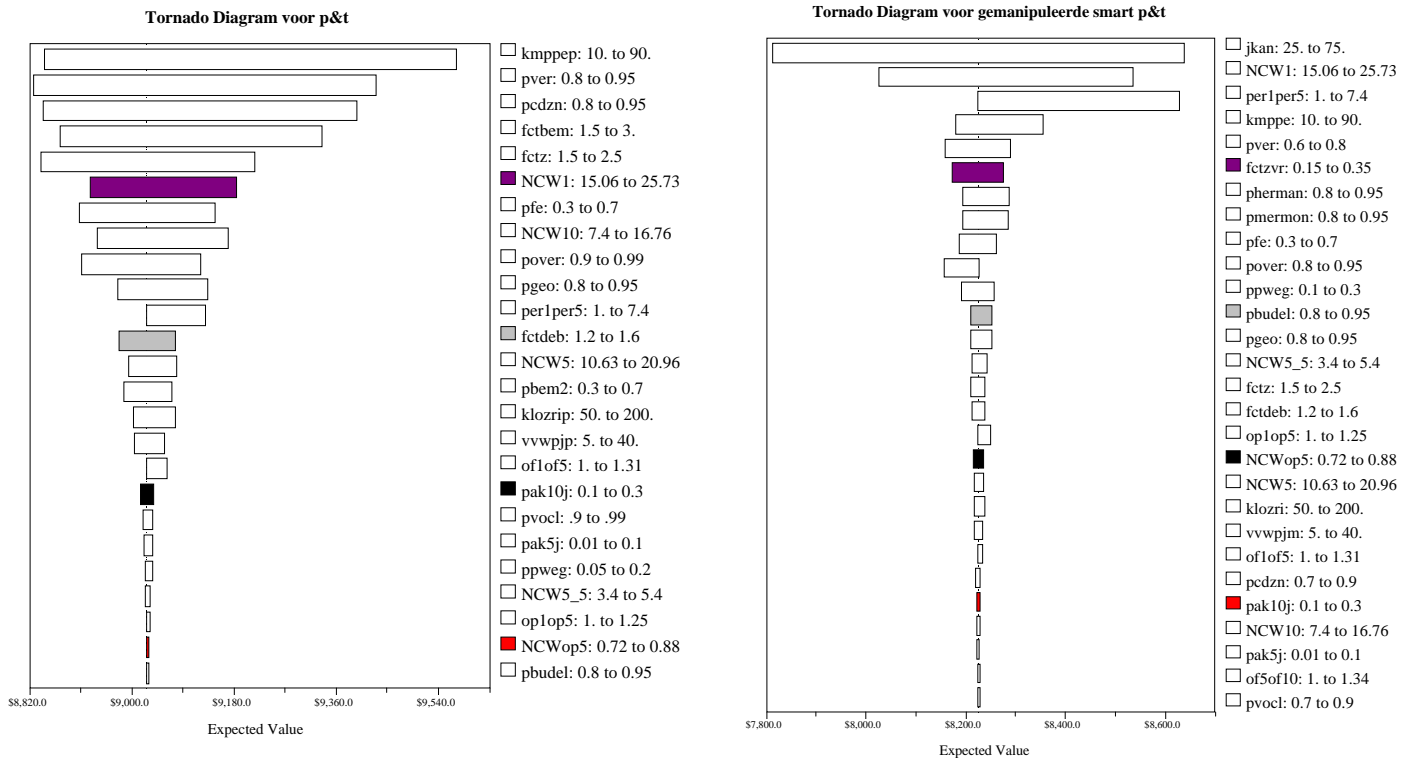


Fig. 15. Tornado-diagram p&t (links) en smart p&t (rechts).

Tabel 2. Verklaring van de namen van de variabelen die zijn gebruikt in het Tornado-diagram.

naam	verklaring
kmppep	kostenoverschrijding, wanneer ontijzeringsstap niet goed werkt
pver	kans dat geen verspreiding optreedt (systeem oké)
pcdzn	kans dat zuivering zware metalen werkt (zuivering oké)
fctbem	vermenigvuldigingsfactor jaarlijkse kosten bij verspreiding
fctz	vermenigvuldigingsfactor zuiveringskosten bij falen
NCW1	netto contante waarde jaarlijkse kosten bij bepaald rente%
pfe	kans dat ontijzeringsstap niet goed werkt
pover	kans op geen overdimensionering
pgeo	kans op verhoging van debieten bij wijziging geohydrologie
per1per5	kosten wanneer per 1 - 5 jaar regeneratie onttrekkingsfilters zijn vereist
jkan	jaarlijkse kosten wanneer anaëroob moet worden ontijzerd

Deze variabelen bepalen, voor beide varianten, meer dan 90 % van de totale gevoeligheid. Dit zijn allemaal variabelen die direct of indirect te maken hebben met jaarlijkse kosten die grotendeels weer afhangen van een te behandelen/zuiveren debiet. Voorbeelden van directe kosten die te maken hebben met het te behandelen debiet zijn kmppep, jkan; voorbeelden van indirecte variabelen die de jaarlijkse kosten beïnvloeden zijn alle kansen die variabele kosten bij falen inhouden (b.v. pver, pcdzn, pfe, pover, pgeo) en factoren die indirect variabele kosten kwantificeren (b.v. NCW1, per1per5, fctz, fctbem). Omdat bij de p&t variant de te behandelen debieten groter zijn, zijn de mogelijke tegenvallers die gerelateerd zijn aan variabele kosten ook groter. Hierdoor zijn de mogelijke overschrijdingen van deze variant ook groter. Voor de gemanipuleerde smart p&t variant zijn wel meer gebeurtenissen te definiëren die tot falen

kunnen leiden; een voorbeeld hiervan is het voorkomen van clogging in het manipulatiesysteem door neerslag van ijzer waarna anaëroob ontijzerd moet gaan worden, welke bij de p&t variant niet voorkomt. De onzekerheid in de kosten voortkomend uit de extra faalgebeurtenissen, specifiek voor de gemanipuleerde smart p&t variant, wegen niet op tegen de hogere, aan het debiet gerelateerde kosten van de p&t variant. Hierdoor worden de 'downside' risico's van deze variant groter.

De cumulatieve kosten-kanscurven van de saneringsvarianten zijn weergegeven in figuur 16. Op het snijpunt van deze twee grafieken hebben de varianten een gelijke kans op de bijbehorende kosten. Het snijpunt is in dit geval tussen Mf 7,8 en Mf 8 (ongeveer de kosten bij de top van de kosten-kanscurve) met een cumulatieve kans van ongeveer 20 %. Beneden Mf 7,8 heeft de p&t variant een hogere cumulatieve kans en boven Mf 8 heeft deze een hogere cumulatieve kans. Met andere woorden er is een kleine kans (20 %) dat de kosten van de sanering lager uitkomen dan die behorende bij de top, waarbij de 'meevallers' voor de p&t variant naar verwachting hoger zijn. Maar de kans op kosten die hoger zijn dan die behorende bij de top is aanzienlijk (80 %), waarbij de overschrijdingen voor de p&t variant naar verwachting hoger zijn. Praktische ranges (1 - 99 %) zijn respectievelijk Mf 5,2 - 15,2 voor de p&t variant en Mf 6,6 - 10,6 voor de gemanipuleerde smart p&t variant.

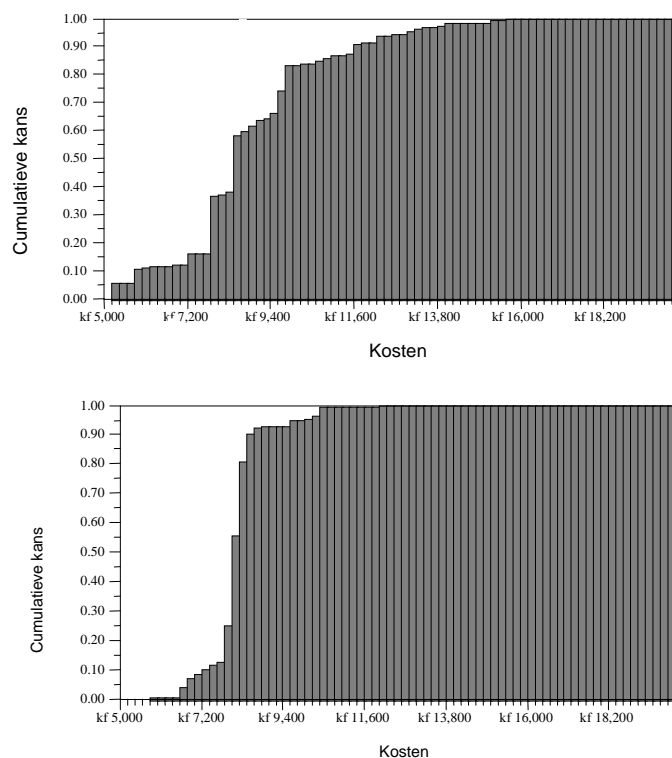


Fig. 16. Cumulatieve kosten-kanscurven voor p&t (boven) en smart p&t (onder).

Nu bekend is dat de jaarlijkse variabele kosten een cruciale rol vervullen in de kosten-kanscurve, kan worden geanalyseerd wat uitgegeven mag worden aan onderzoek ter reductie van de onzekerheid van de faalgebeurtenissen die hiermee samenhangen. Een voorbeeld is het geheel aan ijzerproblematiek dat in beide varianten (op verschillende wijze) terugkomt. De 'value of perfect information' ligt hierbij in de orde van grootte van Mf 2. Dit houdt in, dat de *spreading* in de kosten-kanscurve over die orde van grootte wordt gereduceerd, wanneer exact bekend is in

hoeverre de ijzerproblematiek wel/niet een probleem is. Indien clogging geen probleem is, verminderen veel van de risico's op hoge kostenoverschrijdingen. Let wel, dat het ook zo kan zijn dat uit het onderzoek komt dat de ijzerproblematiek hier zeker tot ingrepen noopt waardoor de verwachte kosten omhoog gaan en de spreiding van het begin van de kosten-kansencurve wordt 'afgesnoept'. Onderzoek doen houdt in, dat er een antwoord wordt verschaft op de vraag of er een probleem is en houdt uiteraard niet in dat daardoor een probleem wordt voorkomen en de kosten lager uitvallen. De 'value of perfect information' moet derhalve worden gezien als het statistische omslagpunt van de kosten die mogen worden uitgegeven aan onderzoek naar een knelpunt. Of dit ook bij één saneringsafweging moet worden uitgegeven is de vraag. Wel geeft dit bedrag aan dat het loont om op de ijzerproblematiek serieus onderzoek te verrichten alvorens te starten met de sanering, waardoor de te verwachten kosten veel beter kunnen worden ingeschat.

3.6 Nieuwe inzichten uit KFR-analyse voor case Weert

Uit de uitgevoerde risicoanalyse blijkt dat de financiële risico's van de gemanipuleerde smart p&t variant (zie fig. 14) minder groot zijn dan die van de p&t variant (zie fig. 13) en daarmee een goede voorkeurskeuze is in het saneringsplan. Motivatie voor de risicoanalyse was juist het onderbuikgevoel dat, hoewel de verwachte kosten van de gemanipuleerde smart p&t variant iets lager lijken, de financiële risico's wel eens groter zouden kunnen zijn. Het betreft immers een innovatief saneringsconcept, dat niet eerder beproefd is. Dat de eventueel te maken kosten bij het optreden van faalgebeurtenissen bij de p&t variant hoger liggen, heeft te maken met het feit dat de overschrijdingen gerelateerd zijn aan variabele jaarlijks te maken kosten. Deze zijn weer een functie van het te zuiveren debiet. Dit te zuiveren debiet is bij de p&t variant groter. De risicoanalyse heeft bijgedragen aan de verantwoording van de keuze van het innovatieve saneringsconcept. Het 'onderbuikgevoel', dat eventueel onverantwoorde risico's worden genomen, werd ontzenuwd.

Ook zijn de voornaamste factoren bepaald die bijdragen aan de spreiding in de kosten-kansen-curven. Voor beide varianten blijken dit gebeurtenissen te zijn die te maken hebben met de ijzerproblematiek. Hoewel dit op voorhand ook wel werd genoemd, is met de risicoanalyse wel aangetoond dat dit het belangrijkste probleem vormt in de mogelijke spreiding in de kosten. Andere problemen (Wat doet Budelco?) die op voorhand ook in één adem met de ijzerproblematiek werden genoemd, worden hierdoor naar de achtergrond verschoven. De factoren die binnen de ijzerproblematiek de kosten bepalen, zijn per variant verschillend. Deze verschillen zijn gekwantificeerd.

Wel is het een goede investering voor beide varianten om uit te zoeken of clogging daadwerkelijk een probleem is op de locatie; een pilottest zou hiervoor het meest geschikt zijn. Het bedrag, dat hieraan kosteneffectief mag worden uitgegeven, bedraagt theoretisch enkele miljoenen. Dit bedrag moet echter niet te letterlijk worden genomen, omdat dit gebaseerd is op de grove kostenmarges die begroot zijn bij een ijzerprobleem en dit slechts een statistisch 'break-even point' aangeeft. Wel geeft het aan, dat hiernaar onderzoek moet worden verricht. Dit wordt gedaan in het kader van het NOBIS-infiltratieproject [Beek et al., 1998]. De risicoanalyse heeft bijgedragen in het onderbouwen van het uit te voeren onderzoek voor aanvang van de sanering, waarbij de bijbehorende reductie in financiële spreiding in de kosten-kansencurve is gekwantificeerd.

Het verdient aanbeveling om een nieuwe kosten-kansencurve te maken, nadat is uitgezocht wat mag worden verwacht omtrent het ijzerprobleem. Op basis van de nieuwe curven kan een betere afweging tussen de saneringsvarianten worden gemaakt. De te verwachten kosten en de bijbehorende spreiding kunnen dan accurater worden ingeschat.

CASE VAN BIJLANDTSTRAAT, TILBURG

4.1 Verontreinigingssituatie en saneringsvarianten

4.1.1 Verontreinigingssituatie

De locatie Van Bijlandtstraat te Tilburg is gelegen in een bewoonde omgeving. In 1988 is begonnen met de bouw van 138 (huur)woningen in het gebied. Bij rioolwerkzaamheden na de oplevering is verontreiniging van de bodem met trichloorethyleen (TRI) aangetoond (zie fig. 17, links). Deze verontreiniging is het gevolg van werkzaamheden in het textielbedrijf, dat vanaf het begin van de eeuw tot halverwege de jaren '80 op de locatie actief was. *Puur product*, de separate vloeistoffase van TRI, is bij de werkzaamheden in de bodem gekomen. De hoeveelheid puur product, die in de bodem is gekomen, is onbekend. Hoge concentraties TRI zijn in het grondwater aangetroffen. Aan de hand van deze hoge concentraties kan worden gesteld, dat puur product zich op verschillende diepten in de ondergrond bevindt. Het puur product bevindt zich ten minste tot op een diepte van 10 m-mv. Deze 'zaklagen' van puur product zijn gelegen op een slechter doorlatende bodemlaag. Op de geschematiseerde dwarsdoorsnede van de locatie is dit aangegeven (zie fig. 17, rechts).

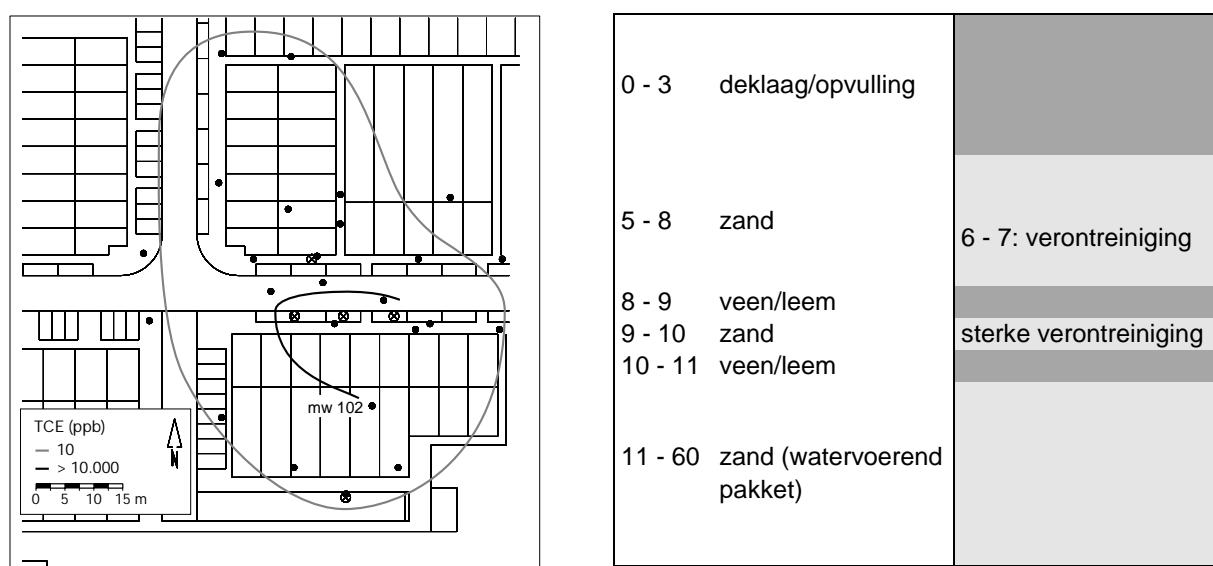


Fig. 17. Schematische weergave van verontreinigingssituatie Van Bijlandtstraat te Tilburg, in vogelvlucht (links) en dwarsprofiel (rechts) met diepte in meters beneden het maaiveld.

In 1989, kort na de eerste waarneming van de verontreiniging, zijn verschillende sterk verontreinigde gebieden, onder andere onder woningen, ontgraven tot op drie meter diepte en wederom aangevuld. Sindsdien wordt door middel van grondwateronttrekking (met bovengrondse zuivering) en de installatie van een bodemluchtextractiesysteem de verontreiniging beheerst/gesaneerd. Het gezuiverde water (circa 150 m³/dag) wordt op het riool geloosd. De effectiviteit van deze wijze van saneren (pump & treat) wordt gelimiteerd door de snelheid waarmee de stoffen vanuit het puur product in oplossing gaan. Tot op heden is meer dan 5.000 kg trichloorethyleen opgepompt, terwijl de TRI-concentratie van het opgepompte grondwater hoog blijft. De sanering stagneert.

De ondiepe ondergrond van de Van Bijlandtstraat bestaat uit de geologische Nuenen-groep: een zeer heterogeen bodempakket, waarin zandige lagen worden afgewisseld met leem, klei en veenlagen. Zo komt op 8 m-mv een circa 1 meter dikke veenhoudende laag voor. Op circa 10 m-mv komt een continue, slecht doorlatende leemlaag voor. In de zandlaag tussen deze beide lagen wordt de bulk van de verontreiniging aangetroffen (zie fig. 17, rechts).

Aan de noord- tot noordoostzijde van de locatie is met name de verontreiniging (9 - 10 m-mv) niet afgeperkt: hier worden op een diepte van 9 - 10 m-mv nog zeer hoge trichloorethyleenconcentraties (35.000 µg/l) aangetroffen.

4.1.2 Saneringsvarianten

De huidige sanering/beheersing bestaat uit het onttrekken van grondwater met drie onttrekkingsfilters die zijn geplaatst in het brongebied. De duur van deze saneringsvariant wordt op tientallen jaren geschat door de grote hoeveelheid puur product en de heterogeniteit van de ondergrond.

Een alternatief voor pump & treat is stoominjectie. Op basis van ervaring wordt verwacht dat door stoominjectie de verontreiniging in een kort tijdsbestek (ca. 1 jaar) te verwijderen is. Stoominjectie is/wordt in het buitenland met succes toegepast, maar nog niet in Nederland. Stoominjectie is gericht op het snel, veilig en efficiënt naar het oppervlak brengen van DNAPL's. De hoge temperatuur mobiliseert de verontreiniging. De belangrijkste processen die daaraan bijdragen zijn vervluchtiging, verhoging van desorptie- en diffusiesnelheden, toename van de maximale oplosbaarheid en een verlaging van de viscositeit. Door de gehele verhitting van de bodem worden naast de zaklagen en de goed doorlatende sedimenten ook de slecht doorlatende klei- en leemlagen aangepakt. Zo wordt nalevering vanuit deze lagen voorkomen en de saneringsduur sterk verkort.

Het gelijktijdig injecteren van stoom en onttrekken van grondwater in het begin en later stoom, zorgt voor een verplaatsing van het grondwater op de gewenste diepte door de geïnjecteerde stoom. Op de 'target'-diepte vormt zich een stoomdeken. Dit is weergegeven in figuur 18. De aanvoer van stoom is na verloop van tijd in evenwicht met de hoeveelheid die onttrokken wordt en door afkoeling aan de randen condenseert.

De verontreiniging zal met het onttrokken water en later met de onttrokken stoom uit de bodem worden verwijderd. De mobilisering (vervluchtiging, desorptie, diffusie, enz.) van de verontreiniging door het verhitten tot 100 °C geschiedt aanzienlijk sneller [Aines et al., 1992; Davis, 1997; Heron, 1997; Heron et al., 1998a en b; Udell en Stewart, 1989; Newmark, 1994] dan onder natuurlijke condities.

Beide alternatieven hebben hun voor- en nadelen:

- *Pump & treat* is meer een beheersingstechniek dan een saneringstechniek en heeft lage jaarlijkse kosten. De saneringsduur is lang, omdat de verontreiniging als puur product door grondwater onttrekken slecht te verwijderen is. Veel grondwater wordt hierbij onttrokken. Pump & treat wordt nu bijna 10 jaar op de locatie toegepast, waardoor de jaarlijkse kosten goed kunnen worden ingeschat. Hier zijn weinig verrassingen in de vorm van onvoorziene gebeurtenissen te verwachten.
- *Stoominjectie* is een intensieve saneringstechniek, waarbij in korte tijd de verontreiniging wordt verwijderd. Dit brengt met zich mee dat alle kosten in een kort tijdsbestek worden gemaakt. Daarnaast is deze techniek niet veelvuldig toegepast.

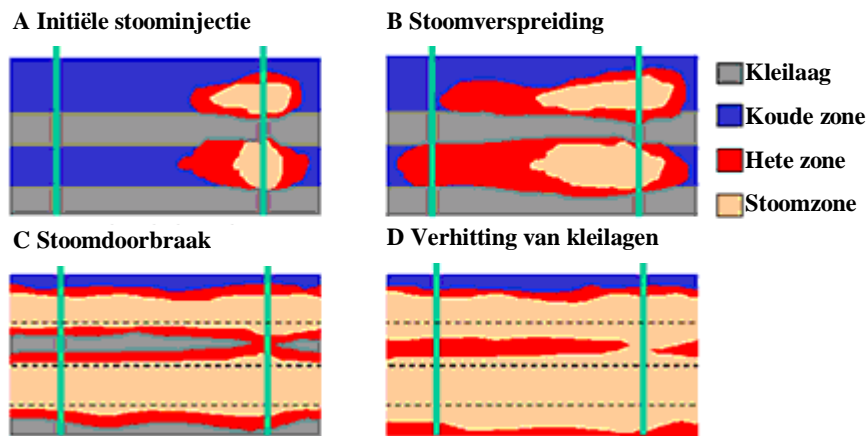


Fig. 18. Schematisch beeld van de vorming van een stoomdeken in de ondergrond en de verspreiding van warmte door de bodem [Heron et al., 1998a en b).

4.2 Faalscenario's en gevolgen

Voor beide technieken zijn verschillende (faal)scenario's geïdentificeerd en is voor zover mogelijk binnen het project aangegeven wat de gevolgen kunnen zijn van elk der (deel)scenario's.

Het aantal mogelijke scenario's voor pump & treat is beperkt vanwege het feit dat pump & treat tien jaar wordt toegepast op de locatie en de grote ervaring met deze techniek in Nederland.

Het aantal scenario's bij stoominjectie is aanzienlijk groter. Naast aspecten met betrekking tot de techniek speelt hierbij de onzekerheid over de verontreiniging en de eigenschappen van de bodem een rol.

4.2.1 Pump & treat

De jaarlijkse kosten worden voornamelijk beïnvloed door beleidsveranderingen van bevoegd gezag ten aanzien van het verbruik van schoon grondwater. Als het onttrekken van grote hoeveelheden grondwater niet langer wordt toegestaan, zijn ingrijpende technische wijzigingen noodzakelijk. Dit vergt een extra (financiële) inspanning.

4.2.2 Stoominjectie

De spreiding in de verwachte saneringskosten voor stoominjectie wordt bepaald door:

- de beperkte kennis over de omvang van de verontreiniging (bodenvolume dat moet worden verhit);
- de onbekendheid met de effecten van stoominjectie op de mechanische eigenschappen van de ondergrond (veen in het bijzonder): mogelijke zettingsschade;
- de kosten per bodenvolume als gevolg van de hydraulische doorlatendheid en de ratio tussen horizontale en verticale hydraulische doorlatendheid.

Daarnaast zijn nog verschillende aspecten aan te geven die ook invloed hebben, maar waarvan de zwaarte geringer is:

- de acceptatie van belanghebbenden: mogelijkheden tot verlaten van de start en dus langere voortzetting van de huidige aanpak (extra kosten);
- de onderschatting van de benodigde capaciteit van onttrekkings- en zuiveringsinstallaties met bijbehorende aanpassingen.

4.3 Onderbouwing van kansen

Voor de onderbouwing van de gebeurtenissen met bijbehorende kansen en eventuele kosten is gebruik gemaakt van een aantal bijeenkomsten:

1. In samenwerking met SteamTech Environmental Services Inc. zijn op basis van de bekende bodemparameters en karakterisatie van de verontreiniging verschillende uitvoeringsaspecten onderzocht en is een raamwerk met mogelijke scenario's opgesteld.
2. In een brainstormsessie van meer dan een dagdeel, d.d. 13 april 1999, door het consortium en dr. G. Heron (SteamTech) is de voorgestelde gebeurtenisboom besproken en daar waar nodig gewijzigd. Hierbij zijn voor verschillende gebeurtenissen kansen en kosten aangegeven.
3. In een daaropvolgende sessie is met een kernteam nader ingegaan op met name de niet-technische gebeurtenissen.
4. Bilateraal zijn individuele gebeurtenissen doorgesproken.

4.4 Analyse

4.4.1 Pump & treat

De spreiding van de verwachte saneringskosten voor pump & treat wordt voornamelijk bepaald door onzekerheden in de werkelijke uitvoeringskosten van het uitvoeren van pump & treat en de kans dat pump & treat niet meer in haar huidige vorm mag worden voortgezet. Andere deel-scenario's, die van invloed zijn op de saneringskosten, zijn de hoogte van de kosten voor de herinfiltratie van het onttrokken grondwater en de gevolgen van verstopping van het infiltratiesysteem.

Verder is pump & treat een robuuste techniek, waardoor er weinig faalscenario's te bedenken zijn die een groot effect hebben op de saneringskosten.

De gebeurtenisboom voor pump & treat is weergegeven in figuur A3 van bijlage A. Figuur 19 geeft de kosten-kansencurve weer. Uit deze figuur blijkt duidelijk, dat de saneringskosten van pump & treat geen sterke spreiding kennen.

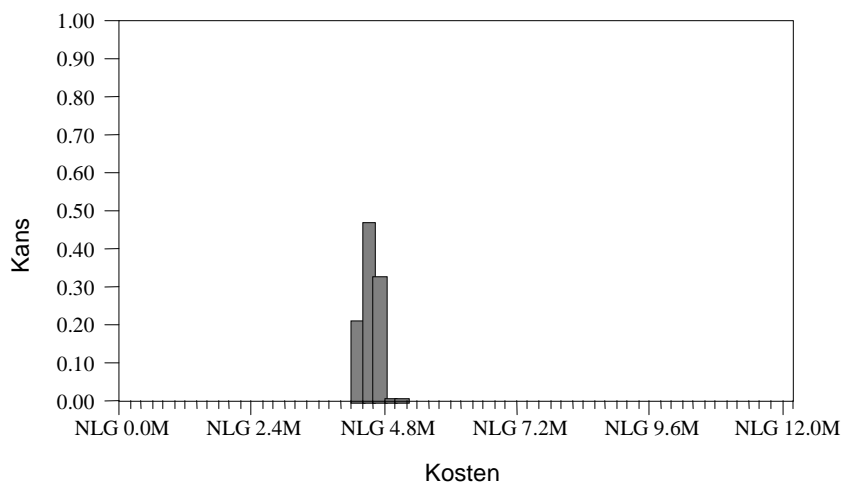


Fig. 19. Kosten-kansencurve voor p&t voor de Van Bijlandtstraat.

Door middel van een gevoeligheidsanalyse zijn de factoren in kaart gebracht die het grootste effect hebben op de saneringskosten (zie fig. 20).

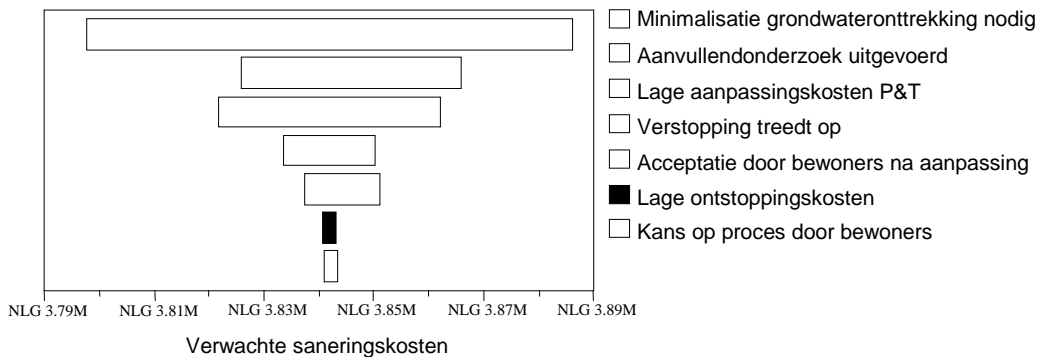


Fig. 20. Tornado-diagram van de *kansen*; effect van onzekerheid van kansen op de verwachte saneringskosten voor p&t.

Uit de gevoeligheidsanalyse naar de onzekerheid van de *kansen* van de onvoorziene gebeurtenissen, blijkt dat een mogelijke infiltratie-eis in de toekomst (minimalisatie van grondwateronttrekking nodig) als onderdeel van de onttrekkingsvergunning de kosten sterk zouden kunnen verhogen. De spreiding rondom de verwachte saneringskosten is circa Kf 100.

Uit de gevoeligheidsanalyse naar de onzekerheid van de *kosten* van de onvoorziene gebeurtenissen, blijkt dat de onzekerheid van de jaarlijkse operationele kosten het meest bepalend zijn voor de spreiding in de saneringskosten (zie fig. 21).

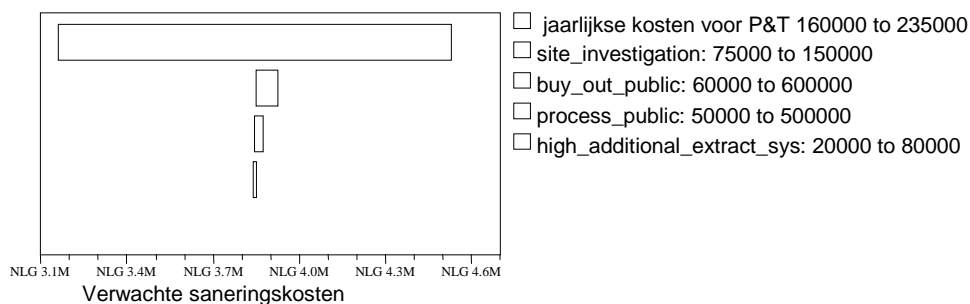


Fig. 21. Tornado-diagram van de *kosten*; effect van onzekerheid van kostenposten op de verwachte saneringskosten voor p&t.

4.4.2 Stoominjectie

De gebeurtenisboom van stoominjectie is zeer groot, het aantal scenario's bedraagt circa 2300. In figuur A4 van bijlage A is een gecomprimeerde versie van de boom weergegeven, waarbij vele takken niet getoond zijn. Daar waar aan het einde van een tak een '+' teken staat, volgt nog een uitgebreide tak, veelal identiek aan de bovengelegen tak bij de voorgaande splitsing. De verwachte saneringskosten van stoominjectie bedragen Mf 3,9.

Voor bijna alle parameters is een gevoeligheidsonderzoek uitgevoerd. De parameters waarbij de kosten slechts een geringe invloed hadden op de uiteindelijke verwachtingswaarde en/of de spreiding van de kosten, zijn buiten beschouwing gelaten. Zoals bijvoorbeeld de kans op aanvullende ontwerpkosten indien een verandering in de zuiveringsinstallatie nodig is (0 of Kf 10,0 extra), een modificatie van de zuiveringsinstallatie (Kf 50,0) en het verschil tussen hoge en lage wijzigingskosten voor het grondwateronttrekkingssysteem (Kf 20 of Kf 5).

Uit de gevoeligheidsanalyse komen de volgende factoren als bepalend voor de saneringskosten naar voren:

- De betrouwbaarheid van laboratoriumtests om uitsluitsel te krijgen over de zetting van veenlagen. De saneringskosten lopen hoog op als zetting optreedt, terwijl proeven dit uitsloten (verwachte kosten bij *geen zakking* Mf 3,0 en *wel zakking* Mf 9,5).
- De betrouwbaarheid van het geschatte bodemvolume dat moet worden verhit in combinatie met de (daaraan gekoppelde) kostprijs per eenheid van bodemvolume (10 % toename van de prijs per bodemvolume leidt tot een toename van circa Mf 0,3, bij implementatie van stoominjectie).
- De kans dat na afronding van de sanering blijkt dat niet alle verontreinigde gebieden zijn aangepakt.
- De wijze van communicatie van de plannen naar betrokkenen en de daaruit voortvloeiende graad van acceptatie en verwachting van uitstel van aanvang van het project (doorlopen van bezwaarprocedures enz.).

In figuur 22 is de kosten-kansencurve voor stoominjectie weergegeven. In figuur 23 is de kosten-kansencurve weergegeven als geen zetting optreedt in de veentests (*No settlement peat in tests*).

Het verschil tussen de beide grafieken is duidelijk het ontbreken van één van de beide 'toppen' in figuur 23. In figuur 23 ontbreekt deze top, omdat de gebeurtenis, dat zetting van veen in de laboratoriumtests noodzaakt tot het kiezen van pump & treat, al is uitgesloten.

In figuur 24 is het effect te zien van de variatie in de verwachte kosten bij een variabele kostprijs voor stoominjectie per m³ als gevolg van de onzekerheid in de doorlatendheid van de bodem. Hieruit is duidelijk zichtbaar dat de invloed van deze parameter op de saneringskosten groot is.

Het effect van de variatie van de andere parameters is beduidend minder.

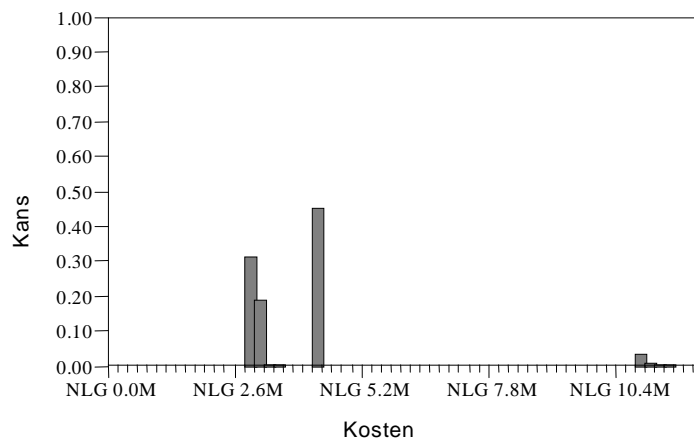


Fig. 22. Kosten-kansencurve voor stoominjectie.

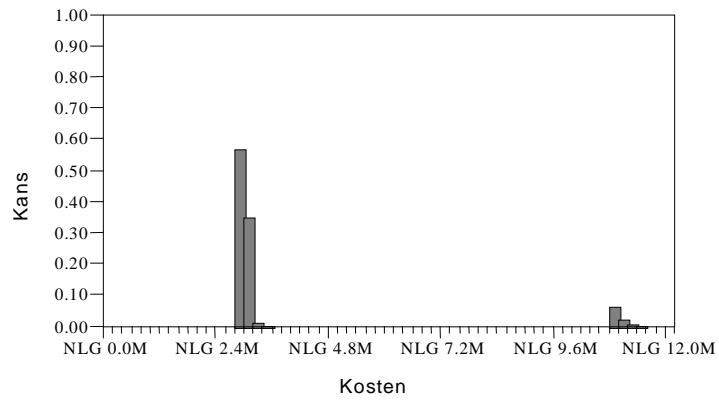


Fig. 23. Kosten-kansencurve indien geen zetting optreedt in de laboratoriumtests.

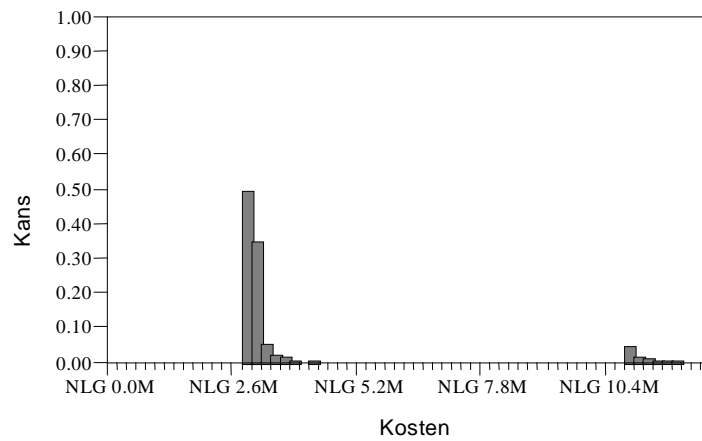
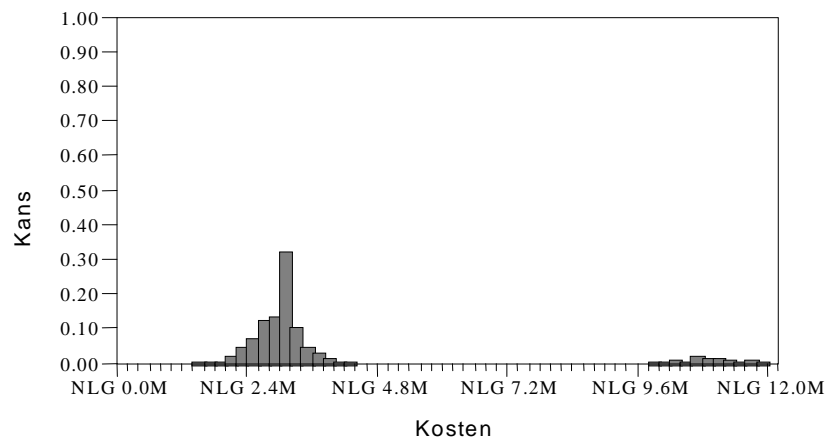


Fig. 24. Kosten-kansencurve voor stoominjectie met onzekere (boven) en vaste kostprijs (onder) per m³ verontreinigde grond.

4.5 Nieuwe inzichten uit KFR-analyse voor case Tilburg

De risicoanalyse is voor deze case niet alleen aangegrepen om de faalgebeurtenissen van de saneringsvariant stoominjectie in kaart te brengen, maar ook om de huidige pump & treat sanering nog eens kritisch te beschouwen. Zoals bij het beschrijven van de varianten al is opgemerkt stagneert de huidige pump & treat sanering. De sanering is dan ook niet meer te beschouwen als een sanering, maar eerder als een beheersing die sterk overgedimensioneerd is.

Een ander punt is dat de mogelijkheid bestaat dat de eisen van de overheid ten aanzien van de onttrekking in de toekomst zullen wijzigen. Een eis tot infiltratie van het onttrokken grondwater kan additionele kosten en problemen met zich meebrengen.

Bij het opstellen van faalgebeurtenissen is als oplossing voor een strengere eis aan de onttrekking ook een reductie van de onttrekking opgenomen volgens het smart pump & treat principe [Hetterschijt en Te Stroet, 1998a]. Dit kan kostenbesparend werken. Een grotere kans op verspreiding is echter vaak inherent aan een scherpere dimensionering van het onttrekkingsstelsel.

Al met al zijn er dus een aantal gebeurtenissen die de jaarlijkse kosten van de huidige pump & treat sanering in de toekomst kunnen wijzigen.

Een belangrijke motivatie voor het kiezen van een andere saneringsaanpak ligt in het besef dat de huidige sanering nog vele tientallen jaren moet worden voortgezet. Hiermee wordt niet voldaan aan de oorspronkelijke verwachting dat deze eindig zou zijn. Bovendien kunnen beleidsveranderingen ertoe leiden dat binnen 30 jaar een nazorgloze situatie is ontstaan (BEVER).

De risicoanalyse heeft voor deze case met name toegevoegde waarde gehad om de financiële risico's van het alternatief stoominjectie 'door te lichten'. Van stoominjectie wordt verwacht dat de locatie binnen zeer korte tijd (half jaar) kan worden gereinigd. Stoominjectie heeft de voorkeur als alternatief van pump & treat, omdat stoominjectie voorziet in een eindige sanering. De saneringskosten dienen echter wel van vergelijkbare orde te zijn als die van de huidige pump & treat sanering (gekapitaliseerd over 30 jaar) en de financiële risico's moeten beperkt zijn. Vanwege het innovatieve karakter van stoominjectie en het feit dat de karakterisatie van de locatie niet gericht was op het ontwerpen van stoominjectie is een kostenraming van stoominjectie aan onzekerheden onderhevig. Een kostenafweging op basis van twee absolute getallen zonder spreiding is dan ook niet toereikend.

De *meerwaarde* van de risicoanalyse was dan ook het in kaart brengen van de financiële risico's van stoominjectie (en de p&t variant), waardoor bevoegd gezag een meer onderbouwde afweging kon maken tussen de twee varianten. Hiermee werd het belangrijkste bezwaar tegen deze stoominjectie - de onbekendheid met de financiële risico's - weggenomen.

Daarnaast was de *meerwaarde* van de risicoanalyse dat mogelijke faalscenario's gestructureerd werden geïnterpreteerd. Een aantal faalgebeurtenissen bleken te kunnen worden voorkomen door nader onderzoek te doen. Het belangrijkste aspect was zetting van veen door verhitting. Hoewel de verwachte saneringskosten volgens de kosten-kanscurve M_f 3,9 bedragen en van dezelfde orde van grootte zijn als de kosten van de huidige pump & treat sanering over een periode van 30 jaar (M_f 4,4), kent de stoominjectievariant 'downstream risks': er bestaat een kans van 5 % dat de saneringskosten M_f 11 worden.

Een daadwerkelijke afweging wordt nog uitgesteld, totdat enkele andere varianten nader zijn onderzocht.

Verder blijken de saneringskosten van stoominjectie sterk bepaald te worden door het bodemvolume dat moet worden behandeld. Tijdens of na afloop van de sanering kan blijken, dat de verontreiniging niet volledig in kaart was gebracht. Een groter gebied moet dan worden behandeld.

De kosten van stoominjectie per eenheidsvolume bodem zijn ook onzeker. Deze kosten worden bepaald door de hoeveelheid stoom en energie (saneringsduur) die nodig is om de verontreiniging op te ruimen. De hoeveelheid stoom en energie zijn afhankelijk van de doorlatendheid van de bodem op de locatie. Uit een Monte Carlo-analyse bleek de onzekerheid van deze kostprijs binnen de bekende bandbreedte van de doorlatendheid nog een aanzienlijke spreiding in de kosten-kansencurve voor stoominjectie tot gevolg te hebben.

De *meerwaarde* van de risicoanalyse is dan ook dat uit het Tornado-diagram en de Monte Carlo-simulatie blijkt dat het gericht bepalen van de doorlatendheid en de omvang van de verontreiniging de moeite kan lonen; de bandbreedte in de kosten kan sterk worden ingeperkt. Hoewel het belang van de doorlatendheid van de bodem en het te behandelen bodemvolume voor alle stoominjectiesaneringen generiek is, is de mate waarin het van belang is sterk case-afhankelijk. Bij cases zoals de Van Bijlandtstraat loont het de moeite om nadere karakterisatie naar doorlatendheid en verontreinigingssituatie te doen. Bij andere cases zijn wellicht meer gegevens beschikbaar en is de bandbreedte minder groot.

CASE EPON, NIJMEGEN

5.1 Verontreinigingssituatie en saneringsvarianten

5.1.1 Verontreinigingssituatie

De ondiepe ondergrond van het terrein waar de Centrale Gelderland van EPON is gesitueerd, is verontreinigd met olie (huisbrandolie of stookolie). De olie is afkomstig uit reservoirs van een aantal schoorstenen die op de Waaldijk zijn gelegen. In figuur 25 is het terrein en de verontreiniging schematisch weergegeven.

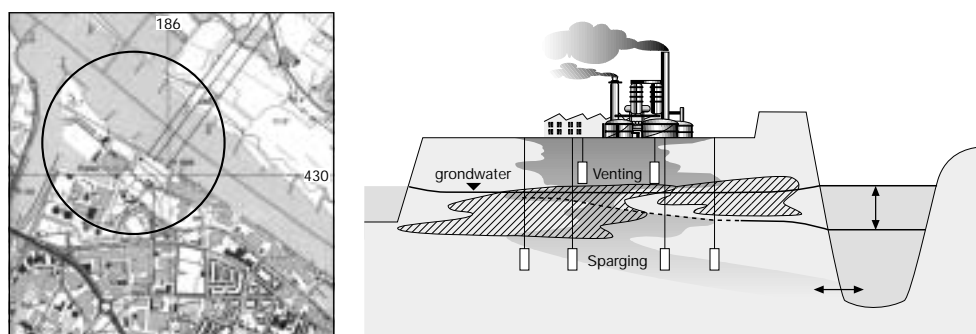


Fig. 25. Schematische weergave van verontreinigingssituatie op het EPON-terrein te Nijmegen, in vogelvlucht (links) en dwarsprofiel (rechts).

Het terrein ligt deels vlak achter en op de dijk van de Waal. Door sterk fluctuerende Waalstanden heeft er versmering van olie over een bepaald diepte-interval plaatsgevonden. Een deel van de olie is daarbij vanuit de ophooglaag, via 'gaten' in een afsluitende kleilaag, onder deze kleilaag in het pleistocene pakket terechtgekomen.

5.1.2 Saneringsvarianten

In 1993 is een bioventingsysteem in de onverzadigde ophooglaag aangelegd om de daar aanwezige olie te verwijderen. De sanering van de ophooglaag is nu grotendeels afgerond. Verwacht wordt dat dit bioventingsysteem in de ophooglaag nog 1 à 2 jaar in werking zal moeten blijven. Omdat dit zowel voor de extensieve als intensieve variant geldt, wordt dit niet meege-
nomen in de kwantitatieve risicoanalyse.

Op dit moment wordt de verspreiding van olie naar de Waal voorkomen door een beheerssysteem dat bestaat uit negen onttrekkingsputten, die zijn aangesloten op een olie-waterscheider. Deze putten treden in werking wanneer de Waalstand daalt, omdat op die momenten de kans op verspreiding van olie over de grondwaterspiegel naar de Waal het grootst is. Het onttrekkingsdebiet van de negen putten is $5 \text{ m}^3/\text{uur}$ per put. De putten staan gemiddeld twee maanden per jaar aan. Tot nu toe is er bijna geen olie aangetroffen in de olie-waterscheider, terwijl de emissie naar de Waal acceptabel wordt geacht (mondelinge mededeling GeoDelft). In de risicoanalyse worden de installatiekosten en de jaarlijkse kosten niet meegenomen. Het systeem is namelijk al geïnstalleerd en de jaarlijkse kosten lijken nihil te zijn (mondelinge mededeling GeoDelft). Omdat de emissie nu wordt geaccepteerd door bevoegd gezag (Rijkswaterstaat), wordt ervan uitgegaan dat dit zo blijft en dat er geen additionele maatregelen genomen hoeven te worden tijdens en na de sanering van de locatie.

In 93/94 is een pilot gestart voor persluchtinjectie om de dieper gelegen smeerzone en de olie onder de kleilaag onder de grondwaterspiegel te saneren. De pilot is in 1999 afgerond. Men staat nu voor de vraag hoe de pilotsanering van de verontreiniging in het *pleistocene* pakket moet worden opgeschaald naar een sanering van de gehele EPON-locatie. Daarbij worden twee verschillende benaderingen of saneringsvarianten voorgesteld:

1. intensieve benadering;
2. extensieve benadering.

Intensieve benadering

De intensieve benadering gaat uit van actieve sanering van het pleistocene pakket door middel van persluchtinjectie. Het spargingsysteem wordt dan ook zodanig ontworpen dat het grootste gedeelte van de verontreinigde bodem kan worden belucht. In de praktijk zal dit systeem de grootste dichtheid aan sparginglansen kennen. Het aantal benodigde sparginglansen wordt op basis van de pilot geschat op 50 stuks. De intensieve aanpak zal vermoedelijk tot een kortere saneringsduur leiden dan de extensieve aanpak.

Het **saneringsdoel** van deze variant moet in overleg met het bevoegd gezag opnieuw worden vastgesteld. Indertijd is de toenmalige **A-waarde** als terugsaneerwaarde genoemd. De **saneringsduur** wordt geschat op **7 jaar**. De **saneringskosten** worden door GeoDelft geschat op **Mf 1,034** [Grondmechanica Delft, 1997], uitgaande van een saneringsduur van 7 jaar en de opzet zoals hierboven is omschreven. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat in deze raming kostenposten zijn opgenomen voor de voorbereiding, een evaluatieonderzoek van de pilotsparging, het ontwerp en de begeleiding van de sanering. Deze kostenposten worden in beide varianten gemaakt en zijn dus ook niet meegenomen in de kwantitatieve risicoanalyse. De kosten van de sanering minus deze posten bedragen volgens GeoDelft **Mf 0,480**.

Extensieve benadering

De extensieve benadering berust op het benutten van het 'ventilerende' effect van de fluctuatie van de Waalstand. Wanneer het peil van de Waal daalt, daalt het grondwaterniveau in het pleistocene pakket, waardoor lucht wordt aangezogen en de top van het pleistocene pakket deels onverzadigd wordt. In deze tijdelijke onverzadigde zone vindt bioventing plaats. Het voordeel van bioventing ten opzichte van sparging is dat transport van lucht in de onverzadigde zone makkelijker verloopt, waardoor met minder injectielansen een even grote zone kan worden belucht. Bovendien verloopt de afbraak in de onverzadigde zone een stuk sneller. Wanneer de Waalstand en daarmee de grondwaterstand weer stijgt, wordt weer overgeschakeld op sparging. Aangenomen wordt dat het gecombineerde voordeel van een snellere afbraak en vergroot luchttransport tijdens venting zo groot is, dat kan worden volstaan met 10 gecombineerde sparging/ventinglansen om het gestelde saneringsdoel in 7 jaar te bereiken.

Het **saneringsdoel** dat, technisch gesproken, kan worden gehaald met deze variant is 20 % van de oorspronkelijke verontreinigingsmassa. Deze is geschat op 10.000 kg. Zoals eerder is genoemd wordt de **saneringsduur** op **7 jaar** geschat. Vanwege de beperkte definitie en uitwerking van de extensieve variant is geen **kostenschatting** anders dan gemaakt in het kader van dit project beschikbaar.

5.2 Fase van het saneringstraject en soort afweging

Een aantal belangrijke dimensioneringsaspecten zijn uitgewerkt. Het gaat dan met name om de invloedssfeer van een sparginglans, de te realiseren afbraaksnelheid, de verontreinigingssituatie en de emissie van olie naar de Waal. Beperkte aandacht is uitgegaan naar de geologische situatie van het terrein. Op basis van deze informatie is door GeoDelft een saneringsaanpak

bedacht, die berust op intensieve sparging van het verontreinigde pleistocene pakket. De gedachten over een extensieve aanpak van de verontreiniging door middel van sparging zijn nog in een prematuur stadium. Er zijn nog geen pilottests gedaan met venting in het pleistocene pakket.

Daarnaast moet opnieuw met het bevoegd gezag worden onderhandeld over het saneringsdoel. De uitkomst van deze onderhandeling zal gevolgen hebben voor de keuze van de saneringsaanpak.

De afweging tussen de varianten vindt hier dus plaats in een vroegtijdig stadium, waarbij één van de varianten nog niet duidelijk gedefinieerd is.

5.3 Faalscenario's en gevolgen

5.3.1 *Falen en kosten*

Bij de analyse van de twee saneringsvarianten voor de locatie van EPON bleek het falen van systeemonderdelen van de varianten vaak een langere saneringsduur tot gevolg te hebben, tenzij gerichte maatregelen werden genomen om dat alsnog te voorkomen. Het zal duidelijk zijn dat een langere saneringsduur of het treffen van maatregelen om dat alsnog te voorkomen extra kosten met zich meebrengen.

In tabel 3 zijn maatregelen opgesomd als actie op een bepaalde gebeurtenis met de daarbij behorende kosten.

Tabel 3. Kosten van maatregelen als gevolg van faalgebeurtenissen.

variant	gebeurtenis	kans	consequentie	kosten
I/E	invloedssfeer lans overschat	0,1 - 0,4	25 lansen bijplaatsen	Kf 50
E	Waalstand ongunstig na 2 jaar ingrijpen	0,1 - 0,4 0,5 - 0,7	20 lansen bijplaatsen	Kf 50
E	Waalstand ongunstig na 3 jaar ingrijpen	0,1 - 0,4 0,2 - 0,4	30 lansen bijplaatsen	Kf 75
E	afbraak minder snel beslissing	0,5 · 0,8	40 lansen bijplaatsen 10 lansen bijplaatsen	Kf 225 Kf 25

Naast de kosten van deze maatregelen hebben gebeurtenissen een verlengde saneringsduur tot gevolg, wanneer niet wordt ingegrepen of de maatregel niet afdoende is. Het gevolg van een verlengde saneringsduur is in de boom verwerkt door een opeenstapeling van jaarlijkse kosten over een langere periode.

De jaarlijkse energiekosten van de biosparging zijn geraamd op Kf 25. Daarnaast is nog onderhoud en afschrijving van de blower berekend. Daarbij is uit gegaan van een levensduur van de blower van 7 jaar. Verder is ervan uitgegaan dat deze kosten elk jaar worden gemaakt. Om daarover nu een beslissing te nemen moeten deze toekomstige kosten worden uitgedrukt in de huidige waarde, rekening houdend met de inflatie. Hierbij wordt geen rente gerekend, omdat het bedrag nu niet wordt gereserveerd. Het falen van het systeem is vertaald in de kans op een saneringsduur van respectievelijk 5, 7, 12 en 20 jaar, waarbij 20 jaar saneren als eeuwigdurend wordt ervaren.

De cumulatieve jaarlijkse kosten als functie van de tijd zijn in tabel 4 weergegeven.

Tabel 4. Cumulatieve jaarlijkse kosten in Kf (gecorrigeerd voor 2,5 % inflatie) als functie van de saneringsduur.

saneringsduur	5 jaar	7 jaar	12 jaar	20 jaar
energie	140	200	355	650
onderhoud/afschrijving	86	103	147	228
totaal	226	303	502	878

Bij de bepaling van de jaarlijkse energiekosten is geen rekening gehouden met mogelijke verschillen tussen de extensieve en intensieve variant.

Specifiek voor EPON is, dat een saneringsduur langer dan 7 jaar negatieve gevolgen heeft indien wordt besloten tot verkoop van het terrein in 2006. Het terrein wordt dan verkocht, terwijl het nog verontreinigd is. De waarde van het terrein zal dan geringer zijn, waardoor EPON inkomsten derft uit de verkoop. Bovendien zal de sanering moeten worden afgekocht. Deze gevolgen van een verlengde saneringsduur bij verkoop zijn inzichtelijk gemaakt door de waarde van het EPON-terrein te schatten en aan te nemen dat de inkomstenderving bij verkoop van het verontreinigde terrein 25 % van de waarde is. De afkoop van de sanering is doorberekend door de saneringsduur op 20 jaar te stellen (EPON koopt de sanering af bij een 'eeuwige' duur). Bij deze wordt opgemerkt dat de schatting van de waarde van het terrein indicatief is. De inkomstenderving wordt op Mf 1,25 geraamd.

Indien ervoor wordt gekozen om door extra maatregelen de saneringsduur binnen de 7 jaar te houden, betekent dit dat er in het geval van de intensieve variant 25 extra lansen worden geïnstalleerd.

Ook bij de extensieve variant kan tijdens de sanering worden gekozen voor het installeren van extra sparginglansen om een verlengde saneringsduur te voorkomen. Afhankelijk van het moment waarop gekozen wordt voor het installeren van extra lansen en de reden die ten grondslag ligt aan een verwachte langere saneringsduur, worden 20, 30 of 40 extra lansen geplaatst.

Bij de extensieve variant is als faalscenario opgenomen, dat deze benadering niet wordt geaccepteerd. Het gevolg hiervan is dat wordt overgegaan tot intensieve sparging, hetgeen tot hogere kosten leidt. Hiervoor zijn de kosten opgenomen zoals die voor de intensieve variant zijn bepaald met de risicoanalyse.

Naast deze kosten, die voorkomen uit het falen van de variant, bestaat er ook een 'basis'verschil in kosten. Dit is gerelateerd aan het feit dat bij de intensieve variant 50 lansen worden geïnstalleerd, terwijl bij de extensieve variant 10 lansen worden geïnstalleerd. Volgens GeoDelft wordt de installatie van 50 lansen met leidingen, kleppen, blower en schakelkast geraamd op Kf 225. De kosten van 10 lansen met bijbehorende infrastructuur is voor dit project door TNO geschat op Kf 80.

5.3.2 *Faalgebeurtenissen*

Faalgebeurtenissen die in een verlengde saneringsduur of installatie van extra lansen resulteren zijn:

- foutieve inschatting van de invloedssfeer van de sparginglans, ofwel onderdimensionering;
- afbraaksnelheid geringer dan volgens de pilot is bepaald;
- verontreinigingsmassa groter dan de geschatte 10.000 kg;
- Waalstand ongunstig (alleen extensieve variant).

Deze faalgebeurtenissen hebben betrekking op ontwerpfouten. Op basis van de pilotproef sparging en de karakterisatie van de verontreinigingssituatie zijn een aantal parameters bepaald die ten grondslag liggen aan het ontwerp van de intensieve variant. Een foutieve inschatting van die parameters (afbraaksnelheid, initiële verontreinigingsmassa, beluchtingsgraad) heeft tot gevolg dat het spargingsysteem dat volgens die parameters is ontworpen niet optimaal functioneert en de sanering langer duurt.

De saneringsduur is niet alleen afhankelijk van de initiële massa en de afbraaksnelheid in relatie tot de beluchtingsgraad, maar ook van het gestelde saneringsdoel, te weten de restconcentratie in bodem en grondwater. Naarmate dit einddoel scherper wordt gesteld, neemt de kans op het bereiken van dit doel in de gestelde termijn af. Het einddoel wordt in de onderhandeling met het bevoegd gezag vastgesteld. De uitkomst van deze onderhandeling is op dit moment onzeker, vandaar dat het saneringsdoel als faalgebeurtenis is opgenomen. De consequentie van het vaststellen van een 'onhaalbaar' saneringsdoel kan een verlengde saneringsduur, of juist het inzetten van extra maatregelen ter voorkoming daarvan, zijn.

De extensieve variant is risico-gestuurd. In de onderhandeling met het bevoegd gezag zal voor de aanvang van de sanering al blijken of het saneringsdoel (20 % van de initiële massa) acceptabel is. De verwachting is dat de restverontreiniging niet merkbaar groter wordt als gevolg van nalevering vanuit de kleilaag. Deze faalgebeurtenis wordt dan ook niet beschouwd bij de extensieve variant.

Het geheel van faalgebeurtenissen, kosten en kansen is weergegeven in de figuren A5 en A6 van bijlage A (intensieve en extensieve variant). Hierbij is een verkorte versie van de 'boom' weergegeven, herhaling van takjes worden niet aangegeven.

5.4 Onderbouwing van kansen

De onderbouwing van de saneringsduur van 7 jaar volgt uit de schatting van de verontreinigingsmassa en de in een pilotstudie gemeten afbraaksnelheid [Grondmechanica Delft, 1997].

GeoDelft heeft vervolgens bepaald hoeveel sparginglansen noodzakelijk zijn om het gehele terrein van EPON goed te beluchten om de omstandigheden van de pilottest zoveel mogelijk te benaderen. Hiervoor is in een pilotstudie de invloedssfeer van de sparging bepaald.

De kans op het niet halen van de saneringsduur van 7 jaar wordt dus mede bepaald door de kans dat de omstandigheden van de pilottest gelden voor het gehele terrein en dat de verontreinigingsmassa goed is ingeschat. De kans op falen van deze factoren is tijdens de risicoanalyse-sessie door middel van consensus ingeschat. Bij falen is door TNO de kans ingeschat of dit geen effect heeft (saneringsduur 7 jaar), een gemiddeld effect heeft (saneringsduur 12 jaar) of een ernstig effect heeft (saneringsduur 20 jaar).

De extensieve variant is nog niet uitgewerkt. Over een aantal gebeurtenissen is weinig bekend. Dit geldt met name voor de vraag of gecombineerde bioventing en sparging met 10 filters even effectief is als alleen sparging met 50 filters. Dit hangt niet alleen af van de vraag hoeveel sneller de afbraak via venting verloopt, maar ook hoeveel tijd van het jaar kan worden gevent (lage Waalstanden). De kans van deze gebeurtenissen zijn dan ook 'zacht' en nog onderhevig aan discussie.

5.5 Analyse

Zowel bij de intensieve als de extensieve variant valt op dat er een grote kans bestaat dat de sanering 5 keer zo veel gaat kosten als oorspronkelijk door GeoDelft is geraamd. Dit komt voort uit het scenario, waarin de sanering niet binnen 7 jaar kan worden beëindigd en besloten wordt tot verkoop van het terrein. In dat geval is het terrein 25 % minder waard en moet de sanering worden afgekocht voor een periode van 20 jaar. Verkoop van het terrein brengt echter geld op. Dit is niet in de risicoanalyse meegenomen, maar het moet echter wel bij de afweging worden meegenomen.

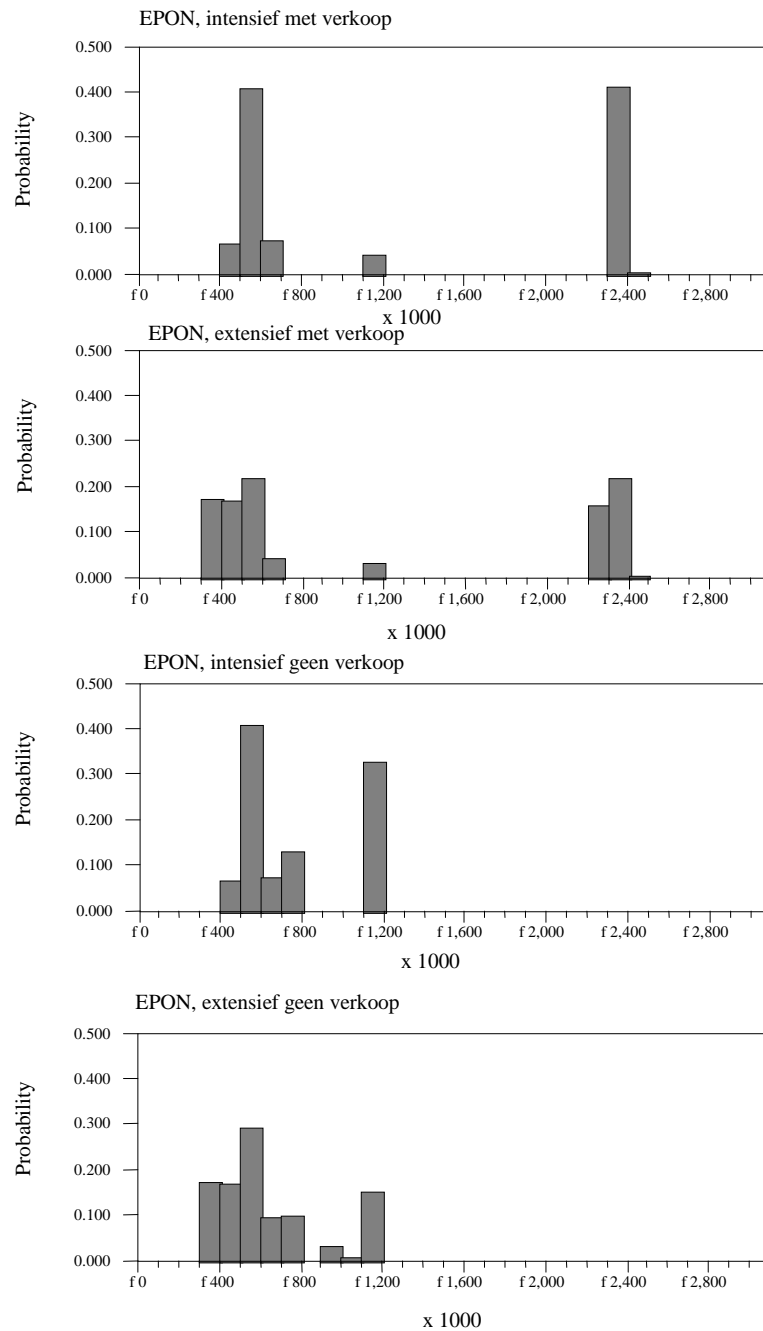


Fig. 26. Kosten-kanscurven voor EPON.

Indien niet tot verkoop van het terrein wordt overgegaan, zijn de verwachte kosten bij de intensieve variant Mf 0,72. Dit piekje wordt ook teruggevonden in de kosten-kansencurve van de extensieve variant.

Bij de intensieve en extensieve variant valt ook op dat er een kans van een 0,05 - 0,3 bestaat dat de saneringskosten Mf 1,1 bedragen. In dit geval duurt het twintig jaar om het saneringsdoel te behalen. Deze verlengde saneringsduur resulteert in hoge kosten als gevolg van de jaarlijkse kosten. In 5.3.2 is al duidelijk geworden welke factoren de saneringsduur en daarmee ook de kosten van de sanering zullen bepalen. Genoemd zijn de afbraaksnelheid, de hoeveelheid verontreiniging, de zuurstofvoorziening, het regiem van de Waal en het te behalen saneringsdoel. Vooraf is nog niet duidelijk welke factoren de grootste invloed hebben op de kosten. Dit wordt bepaald door het effect van de gebeurtenis en de kans daarop en de onzekerheid van die kans.

Een Tornado-diagram biedt inzicht in de gevoeligheid van de saneringskosten voor de onzekerheid van de desbetreffende kans op een gebeurtenis (zie hoofdstuk 2).

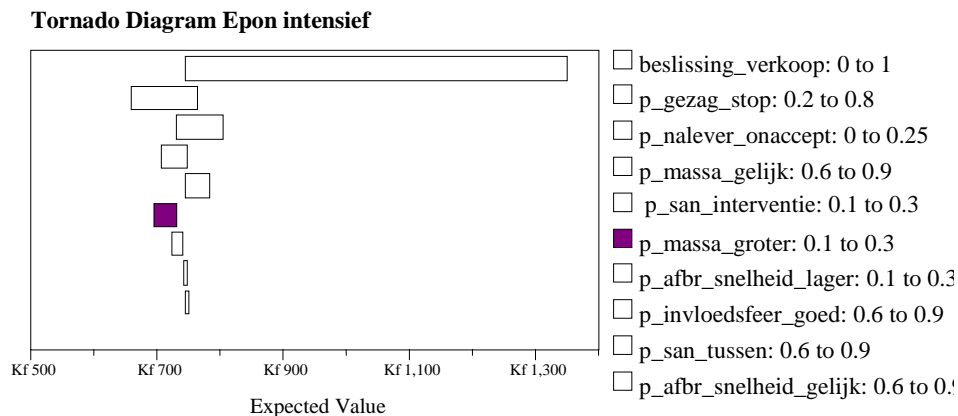


Fig. 27a. Tornado-diagram voor EPON: intensieve variant.

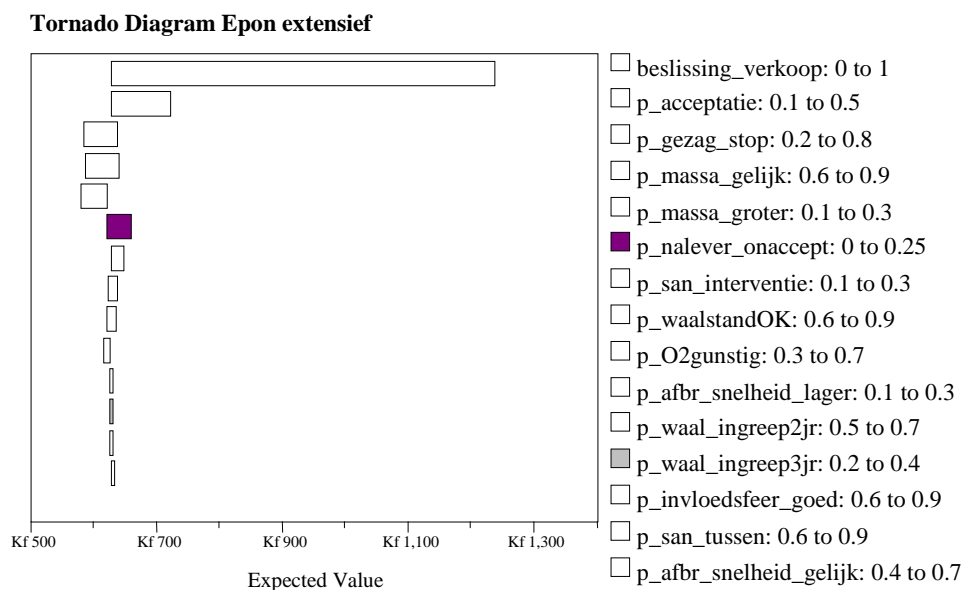


Fig. 27b. Tornadodiagram voor EPON: extensieve variant.

Uit de figuren 27a en b blijkt duidelijk, dat de beslissing tot verkoop (beslissing_verkoop) de grootste invloed heeft op de kosten die gemoeid zijn met de sanering. Bij beslissing tot verkoop nemen de kosten drastisch toe. De beslissing is in het model als een kans opgenomen, waarbij 0 geen verkoop betekent en 1 verkoop.

Een goede tweede en derde zijn de kansen dat het bevoegd gezag accepteert dat de sanering wordt stopgezet na 7 jaar saneren (p_gezag_stop), terwijl het saneringsdoel nog niet is bereikt en dat het bevoegd gezag de extensieve benadering überhaupt accepteert (p_acceptatie). Als het bevoegd gezag stopzetten na 7 jaar accepteert, nemen de saneringskosten af en kan het terrein zonder extra kosten worden verkocht. De kans hierop is gevarieerd tussen 0,2 en 0,8, omdat nu niet duidelijk is hoe het bevoegd gezag zal besluiten in het licht van de beleidsvernieuwing.

Het zal duidelijk zijn dat bij toenemende kans op acceptatie van de extensieve variant door het bevoegd gezag, de kosten afnemen. In dat geval mag men de in het algemeen goedkopere extensieve variant gaan toepassen, anders moet men toch intensief gaan spargen.

De kans op onacceptabele nalevering (p_nalever_onaccept) van de verontreiniging uit de kleilaag tussen het Holoceen en Pleistoceen heeft een negatief effect op de saneringskosten. Gedurende lange tijd hebben oliecomponenten, die zijn opgelost in het grondwater, door diffusie de kleilaag kunnen indringen. De kleilaag zal deze componenten langzaam weer afgeven aan het gereinigde pleistocene pakket. Hierdoor bestaat er een kans dat de concentraties in het Pleistoceen na spargen weer tot boven het saneringsdoel kunnen oplopen en dat de sanering moet worden voortgezet. De consequentie van dit faalscenario is vertaald in 20 jaar lang spargen. De vraag is of dit de meest kosteneffectieve oplossing is in het geval van nalevering. Op dit moment is echter geen alternatief voorhanden.

De kansen op het vaststellen van de interventiewaarde als saneringsdoel (p_san_interventie), het goed inschatten van de verontreinigingsmassa (p_massa_gelijk) en het te laag inschatten van de verontreinigingsmassa (p_massa_groter) hebben ongeveer een even groot effect op de saneringskosten.

Er zijn wel kleine verschillen in de mate waarin deze gebeurtenissen de saneringskosten beïnvloeden voor de intensieve en extensieve variant.

5.6 Nieuwe inzichten uit KFR-analyse voor case Nijmegen

Tabel 5. Beschrijving van de kosten-kanscurven.

	intensief, verkoop Kf	intensief Kf	extensief, verkoop Kf	extensief Kf
gemiddeld	1.307	743	1.168	617
modus	2.353	1.103	383	383
standaarddeviatie	885	261	883	243
minimum	451	451	383	383
5 %	451	451	383	383
mediaan	618	618	528	528
95 %	2.353	1.103	2.353	1.103
maximum	2.443	2.443	2.443	1.193

In beide gevallen bestaat er een kans dat de kosten, die gemoeid zijn met de sanering, Mf 2,3 - 2,4 bedragen (zie tabel 5, maximum). Dit is het geval, wanneer de locatie verontreinigd verkocht wordt na 7 jaar. Dit risico wordt bepaald door de beslissing om al of niet te verkopen en de kans dat de sanering langer duurt dan 7 jaar. Uit de kosten-kansencurven lijken de 'downstream risks' van de extensieve variant bijna gelijk aan die van de intensieve variant; de kans op deze hoge kosten is bij de extensieve variant 38 % en bij de intensieve variant 41 %.

Behalve deze 'downstream risks' zijn er bij verkoop geringe verschillen tussen de varianten; de extensieve variant is ongeveer Kf 100 goedkoper dan de intensieve variant (zie tabel 5, mediaan). Daar staat wel tegenover dat er een grotere spreiding om deze verwachtingswaarde is dan bij de intensieve variant.

Indien besloten wordt om niet te verkopen, blijkt dat de 'downstream risks' bij de intensieve variant iets groter zijn dan bij de extensieve variant. De kans op hoge kosten (20 jaar saneren) is bij de intensieve variant groter (33 %) dan bij de extensieve variant (15 %). Dit is te verklaren uit het feit dat bij de intensieve variant het saneringsdoel scherper wordt gesteld dan bij de extensieve variant. Als de extensieve variant wordt geaccepteerd, houdt dit in dat het terrein minder schoon hoeft te worden.

De *meerwaarde* van de risicoanalyse is dan ook het inzicht dat de financiële risico's en met name de 'downstream risks' niet al te veel verschillen. Er is geen duidelijke voorkeur voor een variant. Als het bevoegd gezag de extensieve variant accepteert, heeft deze de voorkeur, omdat daarmee het saneringsdoel minder scherp wordt gesteld.

Uit de risicoanalyse blijkt duidelijk dat indien de saneringsduur kritisch is (in geval van verkoop), het aanbeveling verdient een goede inschatting van de verontreinigingsmassa te doen. Dit is na niet-technische factoren, zoals de beslissing tot verkoop en de terugsaneerwaarde, de meest bepalende factor voor de saneringsduur en daarmee ook de saneringskosten.

Uit een nauwkeurige schatting van de massa kan in combinatie met de afbraaksnelheid al van tevoren een uitspraak worden gedaan over de verwachte saneringsduur.

NUT EN NOODZAAK VAN EEN RISICOANALYSE

6.1 Inleiding

Tijdens het forum is door de deelnemers aangegeven dat prijs wordt gesteld op waardevolle informatie uit een risicoanalyse:

- inzicht in financiële risico's, bandbreedte van saneringskosten;
- de mate waarin onvoorziene gebeurtenissen tot kostenoverschrijdingen kunnen leiden, identificatie van kritische factoren;
- welke onzekere factoren ten grondslag liggen aan die kostenoverschrijdingen.

Met deze informatie kan een meer gefundeerde keuze tussen saneringsvarianten worden gemaakt, waarbij het risico van een keuze inzichtelijk is. Daarnaast kan, alvorens tot het maken van een keuze over te gaan, op basis van deze informatie gericht onderzoek plaatsvinden naar onzekere factoren en onvoorziene gebeurtenissen om de bandbreedte van de kostenraming te beperken. Daarnaast wordt men bij de totstandkoming van de risicoanalyse gedwongen allerlei mogelijke processen, gebeurtenissen en factoren die van belang zijn voor de sanering gestructureerd te identificeren en te ordenen. Dit proces, dat een groep van direct betrokkenen doormaakt, stuurt het keuzep proces door de keuzes, die vaak impliciet worden gemaakt, nu te expliciteren bij de totstandkoming van een invloedsdiagram of gebeurtenisboom.

Nu is duidelijk dat een risicoanalyse niet zonder enige inspanning tot stand komt. Tijdens het proces dient tevens een hoop informatie en kennis over de varianten boven tafel te komen. Daarvoor is de betrokkenheid van verschillende disciplines vereist. Het resultaat en de meerwaarde van een risicoanalyse is vooraf niet altijd aan te geven (afgezien van de drie algemene producten die hierboven zijn genoemd). Duidelijk is wel dat het resultaat van de risicoanalyse veelzeggender wordt, naarmate de varianten meer zijn uitgewerkt en er meerdere brain- en toetsingssessies hebben plaatsgevonden. Soms is daarvoor het inhuren van deskundigheid noodzakelijk, soms dienen de in te vullen kansen en gevolgen onderbouwd te worden door (model)berekeningen of pilotproeven.

De vraag is nu of van te voren is aan te geven wanneer een risicoanalyse zinvol en kosteneffectief is. Met kosteneffectief wordt dan bedoeld dat de kwaliteit van de beslissing merkbaar positief is beïnvloed. Hierbij kan worden gedacht aan het vermijden van onacceptabele 'downstream risks' door een variant af te wijzen of door risicofactoren nader te onderzoeken.

6.2 Selectiecriteria voor toepassing

Innovatieve saneringstechniek

Bij twee van de drie cases die in dit rapport worden geanalyseerd (Weert en Tilburg), was er sprake van een afweging tussen een beproefde saneringstechniek en een meer innovatieve saneringstechniek (smart pump & treat en stoominjectie). Soms wordt een innovatieve techniek verkozen boven een meer traditionele aanpak, zoals pump & treat, omdat van de innovatieve techniek een beter resultaat wordt verwacht (kortere saneringsduur, goedkoper, schoner). Een risicoanalyse is dan op zijn plaats, omdat de kans op *onvoorziene* gebeurtenissen bij de innovatieve techniek groter zal zijn dan bij de traditionele techniek. In een onderbouwd afwegingsproces zullen de verwachte voordelen moeten worden afgezet tegen de risico's (financieel, veiligheid). De innovatieve techniek wordt in een risicoanalyse als het ware droog geoefend.

Grootschalige complexe saneringen

Naarmate de omvang van een sanering groter zal zijn, zal de verhouding tussen de kosten en de baten van een risicoanalyse gunstiger zijn. Zelfs als de spreiding rondom de verwachte saneringskosten gering is - zeg 20 % om het gemiddelde - is dit bij een sanering met een omvang van een miljoen al gauw 5 tot 10 keer groter dan de kosten van een risicoanalyse (in dit project Kf 25 - 35 per case). De drie cases die in dit rapport zijn geanalyseerd behoren zeker tot die categorie. Toch kan het bovengenoemde getal van één miljoen+ saneringen niet strikt als richtlijn worden gehanteerd. Uit de risicoanalyse van de drie cases is al gebleken dat de kostenkansencurve meestal een asymmetrische vorm heeft. Dit wil zeggen dat de spreiding rondom de verwachte saneringskosten niet links en rechts ongeveer even groot is (symmetrisch), maar dat de mate van kostenoverschrijding vaak veel groter is dan de mate van *onderschrijding*. Bij case Nijmegen (zie hoofdstuk 5) zijn de verwachte saneringskosten Kf 500 à 600, de 'downstream risk' bedraagt Kf 2.400! Zelfs als de derving aan inkomsten bij de verkoop van verontreinigd terrein (beslissing) niet wordt meegenomen, is het 'downstream risk' nog Kf 1.200. Een risicoanalyse lijkt hier op zijn plaats.

Onzeker saneringsverloop als gevolg van heterogeniteit en/of complexe processen

Onvoorziene gebeurtenissen volgen niet alleen uit onbekendheid met de saneringstechniek vanwege innovativiteit. Een onvoorspelbaar saneringsverloop kan ook als een onvoorziene gebeurtenis worden opgevat. Hierbij valt te denken aan een foutieve inschatting van de saneringsduur. Langer saneren heeft een opeenstapeling van jaarlijkse kosten tot gevolg, ofwel kostenoverschrijdingen. In de afgelopen jaren heeft men in de in situ saneringswereld ervaren dat de bodem een heterogeen geheel is en dat de interactie tussen de verontreiniging en de bodem als gevolg van een sanering lastig te voorspellen is. Processen die het saneringsverloop bepalen spelen zich vaak op microschaal af, maar zijn op die schaal niet kosteneffectief te karakteriseren. De vertaalslag van metingen op macroschaal naar het verloop van processen op microschaal is lastig. Voorspellen blijft dus moeilijk. Dit maakt kostenramingen die bepaald worden door grote jaarlijkse kosten sterk gevoelig voor overschrijdingen. Een risicoanalyse lijkt dan op zijn plaats. Case Nijmegen is sterk afhankelijk van de saneringsduur, onzekerheden hierin leiden tot grote 'downstream risks'.

Stadium van uitwerking

Een risicoanalyse stelt eisen aan de beschikbare informatie en de mate van uitwerking van de varianten. Bij alle drie besproken cases was één van de twee varianten waartussen werd afgewogen al uitgewerkt tot het niveau van saneringsonderzoek of -plan. De alternatieven waren bij alle drie de cases minder ver uitgewerkt, waarbij het alternatief van case Weert was uitgewerkt op het niveau van een haalbaarheidsstudie, het alternatief van case Tilburg in dit project was uitgewerkt op een gelijkwaardig detailniveau en het alternatief van case Nijmegen was uitgewerkt op het niveau van interne memo's. Bij de uitwerking is duidelijk geworden dat niet zozeer de mate van uitwerking belangrijk is als wel de eenduidigheid over de saneringsaanpak (het ontwerp). Zo'n schetsmatig ontwerp, samen met de achtergrondinformatie uit saneringsonderzoeken, biedt voldoende houvast voor het inschatten van kansen en gevolgen. De case dient dan ook ten minste tot op het niveau van saneringsonderzoek te zijn uitgewerkt om case-specifieke antwoorden te kunnen geven.

Generieke analyse voor programmatische saneringen

Zonder tot op het niveau van een saneringsonderzoek af te dalen kan een risicoanalyse toch zijn nut bewijzen. Hierbij wordt gedacht aan een *generieke* risicoanalyse voor gelijksoortige cases (zelfde soort verontreiniging, bodem en saneringsaanpak). De risicoanalyse kan dan worden gebruikt om de 'zwakke plekken' in een saneringsstrategie te identificeren (gevoeligheidsanalyse). Dit kunnen dan aandachtspunten zijn voor nader onderzoek bij de implementatie, of kan op

grond van zo'n analyse de saneringsstrategie geheel worden verworpen. De inspanning die nodig is voor zo'n generieke analyse kan zeker worden verantwoord bij programmatisch saneren, waarbij tientallen tot honderden gelijksoortige gevallen worden aangepakt. De analyse wordt generiek gemaakt door de kansen en kosten te variëren binnen voor het type case gangbare ranges. Alleen die gebeurtenissen worden ingebracht die case-specifiek zijn (bijvoorbeeld verstopping bij pump & treat systemen).

Evaluatie van nieuwe technieken

De sterke en zwakke punten van een 'nieuwe' saneringstechniek of concept kunnen worden bepaald door een generieke risicoanalyse toe te passen. Hierbij kan de aanpak worden beproefd op een steekproef van locaties. Deze toepassing heeft meer het karakter van een brainstorm. Naarmate meer werk wordt gestoken in de uitwerking voor specifieke cases, zal de analyse meer waarde hebben. In feite verschilt deze aanpak niet van de aanpak van de drie besproken cases: stoominjectie is nog niet toegepast op case Tilburg. Wel kwamen enkele generieke aandachtspunten uit de analyse naar voren. Een aanbieder van een nieuwe techniek zou op deze wijze de kwaliteit van de techniek kunnen toetsen alvorens deze daadwerkelijk in de markt te zetten.

HOOFDSTUK 7

OVERDRACHT, TOETSING EN INPASSING VAN DE RISICOANALYSE IN DE BESTAANDE PRAKTIJK

7.1 Inleiding

Een belangrijk onderdeel van dit project was de overdracht van de opgedane ervaringen met de risicoanalyse naar de praktijk. Hiertoe is een forum georganiseerd, waarbij case Weert is voorgelegd aan een breed publiek. Hiervan wordt in 7.2 verslag gedaan. Naast kennisoverdracht is ook een heldere positionering van de KFR-risicoanalyse naast bestaande afwegingsondersteunende systemen van belang voor de inbedding van KFR in de praktijk. Hoe KFR zich verhoudt ten opzichte van RMK en KEV wordt toegelicht in 7.3.

7.2 Forum

Op 16 juni 1999 is bij TNO te Delft een forumbijeenkomst gehouden over KFR. Bij dit forum waren circa 60 personen uit een breed scala aan bedrijven en instellingen aanwezig: overheden, eindgebruikers, adviesbureaus, enzovoorts. Een uitgebreider verslag hiervan is weergegeven in bijlage B. Het forum had twee doelen: ten eerste de kennis over de toepassingsmogelijkheden van de KFR-methodiek over te dragen aan alle belangstellenden. Daarnaast werd via een discussieronde en een enquête nagegaan of de KFR-systematiek een aanvulling kon zijn op de gangbare technieken.

Op het forum is eerst een uitleg gegeven over de werking en globale toepassingsmogelijkheden voor de methodiek. Daarna is in meer detail de gehanteerde aanpak voor een willekeurige case toegelicht, waarbij als leidraad twee afgeleide alternatieven van de case Akzo Nobel, Weert zijn genomen. Het primaire doel was om inzicht te geven in de procedure en mogelijke producten. Achtereenvolgens is hiervoor tijd besteed aan:

- een technische beschrijving van de case, de saneringsvarianten en de RMK-analyse;
- een kiesronde van de deelnemers voor één saneringsvariant met terugkoppeling;
- op aandragen van de deelnemers is een grove analyse gemaakt van mogelijke faalkansen/gebeurtenissen. Aansluitend aan deze inventarisatie zijn door de deelnemers (door hoofdelijke telling) kansen van optreden (wel/niet) aangegeven. De geïdentificeerde faalkansen/gebeurtenissen en kansen van optreden zijn om een vergelijk te kunnen maken met de analyse in dit rapport aangegeven in tabel 6;

Tabel 6. Overzicht van geïdentificeerde faalkansen/gebeurtenissen tijdens het forum.

gebeurtenis	ja	nee
ijzer: problemen met infiltratie als er geen zuivering plaatsvindt; verwijdering van ijzer is juist één van de duurste zuiveringsstappen	95 %	5 %
vergunningprobleem ten gevolge van verdroging	20 %	80 %
eindige sanering	20 %	80 %
zetting leidt tot schade aan omliggende infrastructuur (daling g.w.s. 0,5 m)	20 %	80 %
ontsnapping verontreiniging	90 %	10 %
verontreiniging in manipulatiesysteem	50 %	50 %

NB: Percentages zijn geschatte percentages van het aantal deelnemers dat denkt dat het optreedt, niet de verwachte kans van optreden.

- on line presentatie van de gemaakte 'gebeurtenisboom';
- presentatie van de in dit rapport uitgevoerde analyse van de case Akzo Nobel, Weert;
- een tweede stemronde ter inventarisatie van de voorkeursverschillen tussen de verschillende alternatieven.

Na een toelichting van de uitgevoerde analyse in het kader van het project aan de forumdeelnemers is wederom een stemronde gehouden om verandering van de verschillen in voorkeur voor de varianten na te gaan. Enkele aangegeven motiveringen om van keuze te veranderen zijn:

- van variant 1 naar variant 2: uitkomst financiële analyse was precies andersom dan verwacht; hierbij is aangenomen dat de analyse correct is uitgevoerd;
- van variant 2 naar variant 1: er bleek bij variant 1 een relatief grotere kans dat de sanering veel goedkoper uitvalt dan de verwachtingswaarde (gokaspect);
- de uitgangspunten zijn tussentijds gewijzigd (ijzerproblematiek).

Uit de evaluatie van de geretourneerde enquêteformulieren is verder gebleken dat:

- veel van de deelnemers de KFR-methodiek als een goede aanvulling zien voor het evalueren van saneringsvarianten (meer dan 90 %);
- de KFR-methodiek veelal goed toepasbaar is binnen het werkveld van de deelnemers;
- veel van de deelnemers de methodiek denken zelf te gaan gebruiken.

De gemiddelde score op de vragen over de waarde van de risicoanalyse en het bereiken van de doelstelling van dit project (overdracht van de methodiek) lag tussen 1,8 en 2,1 waarbij 1 is geclassificeerd als 'zeer zeker' en 5 als 'geheel niet'.

7.3 Inpassing van risicoanalyse in bestaande methodieken als RMK/KEV

7.3.1 Inleiding

Het doel van het NOBIS-project "Kwantificering van financiële risico's van saneringsvarianten" is het vergroten van het draagvlak voor het meenemen van de onzekerheid bij kostenafwegingen tussen saneringsvarianten door middel van kennisoverdracht. Bij de afweging tussen saneringsvarianten spelen echter meer factoren een rol dan alleen de onzekerheid in de kosten. Voor de saneringsvarianten van één van de cases, waarvoor in dit project de onzekerheid in de kosten is bepaald, is daarom ook een RMK-beoordeling uitgevoerd.

RMK [Nijboer et al., 1998] is een beslissingsondersteunend systeem met als doel het evalueren, vergelijken en ordenen van saneringsvarianten voor een locatie op basis van de risicoreductie, de milieuverdiensite en de kosten van de verschillende saneringsvarianten. Het reduceren van risico's ten gevolge van blootstelling aan mens en ecosysteem en het leveren van een bijdrage aan een betere milieukwaliteit zijn belangrijke doelstellingen van de bodemsanering. Het meenemen van de risicoreductie en de milieuverdiensite geeft daardoor inzicht in de kosteneffectiviteit van de saneringsvarianten. In de RMK-beoordeling kunnen ook onzekerheden in de kosten en in de milieuverdiensite worden meegenomen. Verschillen in wijze van berekening en presentatie van de onzekerheid in kosten kunnen ervoor zorgen dat de uitkomst van RMK en de kosten-kansenboom van KFR verschillend zijn. Binnen NOBIS is, naast het afwegingssysteem RMK, ook KEV ontwikkeld. Ook KEV geeft een indruk van de kosteneffectiviteit van saneringsvarianten. KEV [Beinat et al., 1998] is een afwegingssysteem dat is ontwikkeld voor het verwijderen van mobiele verontreinigingen. Daarnaast is KEV bedoeld voor het afleiden van een saneringsdoelstelling voor mobiele verontreinigingen. Bij de effectiviteit gaat het in KEV om het reduceren van risico's, het verwijderen van vracht en de verdiensite voor het milieu. Bij de

kosten gaat het niet alleen om geld maar ook om de negatieve milieueffecten. Voor de berekening van de financiële kosten gebruikt KEV dezelfde rekenmethode als RMK.

In deze paragraaf volgt een discussie, waarin ook de mogelijkheden om kosten-kansbomen en RMK te kunnen koppelen worden onderzocht. Er worden de volgende vragen besproken:

1. Hoe verhouden de onzekerheden in de kosten zoals bepaald met RMK zich met de uitkomsten van KFR?
2. Hoe kan KFR worden gepositioneerd in verhouding tot RMK en KEV? Kan KFR eventueel worden ingepast in RMK of KEV?

In bijlage C is in meer detail ingegaan op de RMK-systematiek, waarbij de nadruk zal liggen op de berekeningen en presentatie van kosten en onzekerheden in de kosten. In bijlage D is de RMK-beoordeling van de case 'Akzo Nobel, Weert' gegeven. De eindsommaties betreffende de Risicoreductie, Milieuverdienste en de Kosten van beide varianten zijn als voorbeeld weergegeven in figuur 28.

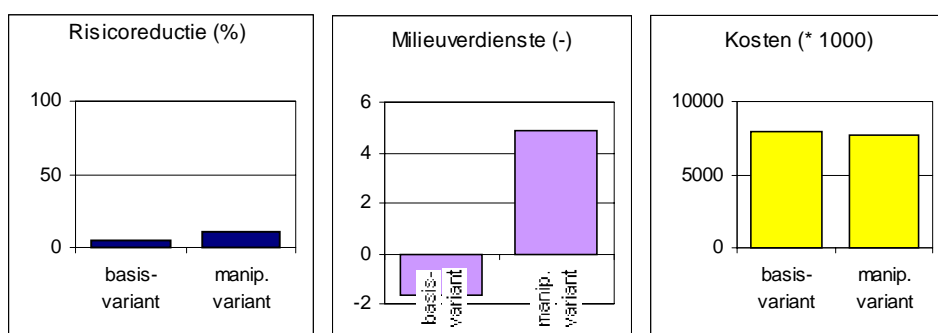


Fig. 28. Risicoreductie, Milieuverdienste en gewaardeerde Kosten.

Voor zowel Risicoreductie, Milieuverdienste en Kosten komt de manipulatievariant als een goede keuze naar voren. Hierbij wordt opgemerkt dat de verschillen in risicoreductie en in verwachte kosten tussen beide varianten gering zijn. Voor de verwachte kosten zijn de verschillen zelfs niet significant. De manipulatievariant scoort vooral goed op milieuverdienste. Alhoewel er een absolute onzekerheid zit in de hoogte van de milieuverdienste kan worden aangenomen dat het verschil tussen beide varianten significant is. Op basis van deze RMK-analyse komt de manipulatievariant als een goede keuze naar voren.

7.3.2 Onzekerheden in kosten bepaald met RMK en KFR

Uit de analyse van de onzekerheden in de kosten, zoals uitgevoerd met RMK, blijkt dat de *verwachte* kosten van beide varianten van de behandelde case niet significant verschillend zijn. Hierdoor worden de kosten geen onderscheidende factor in de RMK-afweging. Verder blijkt dat de uiteindelijke kosten en de verschillen tussen beide varianten gevoelig zijn voor de hoogte van de disconteringsvoet. Dit wordt veroorzaakt doordat de doorlopende kosten de grootste invloed hebben op de uiteindelijke kosten van beide varianten.

De spreiding in de verwachte kosten van beide varianten blijkt verschillend te zijn uit de kosten-kanscurven van KFR. De spreiding of onzekerheid in de kosten is volgens de KFR-afweging (zie fig. 13 en 14) veel groter dan de volgens de RMK-afweging (zie fig. 28). Dit komt, omdat in de KFR-analyse onverwachte en onvoorziene gebeurtenissen worden beschouwd, hetgeen in de RMK-analyse niet mogelijk is. Van deze bijzondere gebeurtenissen is de verwachting dat deze een kleine kans van optreden hebben, maar een groot effect. Een voorbeeld hiervoor is het falen van het geplande systeem waardoor bijvoorbeeld alsnog ontgraven moet worden.

Onzekerheid wordt in RMK meegenomen door alle mogelijke combinaties van onafhankelijke normale verdelingen te nemen. In termen van gebeurtenisbomen kan dit het best worden gezien als volledig symmetrische bomen, waarbij de takjes alle een gelijke kans van 0,5 bezitten en alleen de kosten per gebeurtenis verschillende waarden bezitten (varianties). Gebeurtenissen die ten grondslag liggen aan over- of onderschrijding van kostenposten worden niet expliciet benoemd in de RMK-systematiek.

Doordat in KFR bijzondere gebeurtenissen kunnen worden meegenomen, zal een KFR-analyse een gedetailleerder beeld geven dan een RMK-analyse. De uitvoering van een gevoeligheidsanalyse in KFR laat daarnaast zien welke factor een belangrijke rol speelt in de onzekerheid van de kosten. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat voor een KFR-analyse meer expliciet aannamen worden gedaan. Voor zowel KFR als RMK zijn kostenramingen nodig. Bij RMK worden hoge en lage schattingen gegeven. De kansverdeling is een normale verdeling (impliciete aanname). Voor KFR wordt deze kans expliciet ingeschat. Een foutieve inschatting van een kans kan ervoor zorgen dat het uiteindelijke beeld van de onzekerheid in de kosten afwijkt van de daadwerkelijke onzekerheid in de kosten. Dit kan worden ondervangen door een bandbreedte voor de kans in te voeren (of de kans volgens een normale verdeling op te geven).

Samenvattend wordt gesteld dat bij complexe en of grootschalige saneringen naast een RMK-analyse ook een risicoanalyse nodig is. De risicoanalyse voegt informatie toe voor de afweging tussen varianten die complementair is aan de RMK-analyse.

7.3.3 *KFR, RMK en KEV in het afwegingsproces*

In RMK en KEV worden de kosten van saneringsvarianten niet direct gekoppeld aan de kans dat bepaalde kosten moeten worden gemaakt. Een directe inpassing in de bestaande spreadsheets van RMK of in de rekenwijze van KEV is dan ook zonder additioneel programmeerwerk niet mogelijk. Wat natuurlijk wel mogelijk, en makkelijk realiseerbaar, is om naast de door RMK en KEV berekende kosten ook de door KFR berekende kosten-kanscurven te laten zien. Dit is natuurlijk vooral zinnig indien beide methoden anders gepositioneerd kunnen worden in het afwegingsproces.

Uit de presentatie van case Akzo Nobel, Weert in het forum is gebleken, dat bij de afweging tussen de varianten zowel informatie vanuit een RMK-analyse als vanuit een KFR-analyse gewenst is. De informatie is complementair aan elkaar. Verder is uit de toepassing van KFR op de drie cases gebleken, dat KFR in verschillende fases van de uitwerking van varianten zinvol is. Wel vergt een KFR-analyse een zekere financiële inspanning. De vraag is dan eerder, wanneer de kosten van een KFR-analyse opwegen tegen de baten. In 6.2 is aangegeven dat dit niet alleen het geval is bij grootschalige en complexe saneringen, maar ook bij de introductie van innovatieve saneringstechnieken en programmatisch saneren.

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

8.1 Conclusies

De opmerkingen die gemaakt zijn door de forumdeelnemers ten aanzien van de toepassing van KFR dekken zeer aardig de conclusies die ook getrokken zouden kunnen worden uit de drie cases die in dit rapport zijn besproken. Hieronder volgt een samenvatting:

- Het in kaart brengen van financiële risico's is van belang, wanneer niet direct geplande of kwantificeerbare gebeurtenissen een rol spelen bij een sanering. Vanwege de complexiteit van de interactie tussen bodem, verontreiniging en sanering is dit vaak het geval. Het gaat dan niet alleen om een meer betrouwbare inschatting van de saneringskosten en de spreiding daarom heen, maar ook om de hoogte van 'catastrofale' kostenoverschrijdingen met een kleine kans van optreden.
- KFR helpt bij het onderkennen van knelpunten. Door middel van een gevoeligheidsanalyse is duidelijk te kwantificeren welke aspecten belangrijk zijn. Dit houdt ook in dat aan minder gevoelige aspecten geen (verspilde) energie meer hoeft te worden besteed, ondanks dat deze gevoelsmatig een rol leken te spelen in de afweging.
- KFR helpt aan te geven wat de invloed is van de accuratesse van een onderzoek op de onzekerheid van de te verwachten saneringskosten. De effecten van mogelijke fouten in een schatting worden gekwantificeerd en er kan een 'opbrengst' van het inwinnen van informatie over knelpunten worden geschat. Hieruit kan worden afgeleid wat mag worden uitgegeven aan onderzoek om de onzekerheid over gebeurtenissen te minimaliseren.
- KFR geeft richting aan de onderzoeksinspanning.

Het toepassen van KFR kan worden afgestemd op de fase in het saneringstraject of de omvang van de sanering. Op elk kennisniveau kunnen onduidelijkheden of risico's van individuele aspecten worden meegenomen. Wel is het zo, dat het detail en de kwaliteit waarin risico's worden meegenomen afhangt van het beschikbare budget: een brainstormsessie wordt waardevoller indien betrokkenen zich beter kunnen voorbereiden, wanneer meer kennis bij elkaar gehaald kan worden, of wanneer er ruimte is om tussentijds belangrijke aspecten nader te kwantificeren door middel van beschikbare tools, metingen of expertise. Hoever hierin wordt gegaan is een afweging op zich. Uit het voorgaande volgt, dat KFR goed kan worden opgenomen in een cyclisch ontwerpproces. Er kan goed worden omgegaan met dynamische kostenaspecten: nieuwe informatie of veranderingen in beleid en dergelijke kunnen direct worden doorberekend met de methodiek, zodat een 'real time' beslissing kan worden genomen op basis van de meest recente gegevens.

In het algemeen is een KFR-risicoanalyse zeer waardevol als het gaat om een afweging waarin een *innovatieve* saneringstechniek wordt meegenomen, bij één miljoen+ saneringen, als er sprake is van een heterogene bodem en complexe processen, of (meer generiek) bij programatisch saneren.

8.2 Aanbevelingen

Tijdens het forum zijn ook een aantal aanbevelingen naar voren gekomen:

- Het zou wellicht goed zijn om een case te presenteren waarin de technologie niet domineert, omdat de methodiek zich hiervoor ook goed leent (gedeeltelijk zit dit in het rapport in de case EPON, Nijmegen waar een verkoopbeslissing bepalend blijkt te zijn).
- Validatie van deze techniek op een afgeronde sanering kan nuttig zijn om na te gaan in hoeverre de uitkomsten van de KFR-analyse overeenkomen met de werkelijk gemaakte kosten.
- In relatie tot bovenstaand punt werd het zinvol gedacht KFR toe te passen op een reeds uitgevoerde sanering, omdat dit mede inzicht kan verschaffen in de waarde van deze techniek en de schattingen.
- De 'bril' van de experts kan van invloed zijn op de aandacht die bepaalde aspecten krijgen binnen het team. De ervaring in andere toepassingsgebieden leert dat ondanks de verschillen in het team, de resultaten van verschillende teams die dezelfde case uitwerkten goed vergelijkbaar zijn. Een gemêleerd panel (beperkt in omvang) verdient hierbij de voorkeur om zoveel mogelijk aspecten goed te belichten: technici, beleidsmedewerkers, juristen, enzovoorts. Een dergelijke exercitie werd ook zinvol geacht om de robuustheid te testen en daarmee het draagvlak te vergroten.
- Praktisch nut: met behulp van deze methode kunnen probleemeigenaren inzicht krijgen in de financiële aspecten van de sanering. De methode dient dan wel eenvoudig toegankelijk te zijn.

LITERATUUR

Aines, R., R. Newmark, W. McConachie, K. Udell, D. Rice, A. Ramirez, W. Siegel, M. Buettner, W. Daily, P. Krauter, E. Folsom, A. Boegel en D. Bishop, 1992.

Dynamic underground stripping project (in preprint).

Waste Management '92 Symposium, Lawrence Livermore National Laboratory, March 1-5.

Bakker, L.M.M., 1996.

Aanvullend nader onderzoek voormalig bedrijfsterrein Akzo Nobel te Weert.

Tauw Milieu, rapportnr. R3447073.T02/LMB, Deventer.

Beek, C.G.M., L. Vasak, A. Nieuwaal, G.C. Stefess en L.M.M. Bakker, 1998.

Ontwerp en onderhoud van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen - Eindrapport.

CUR/NOBIS-rapport 96-3-06, CUR/NOBIS, Gouda.

Boode J. en L.M.M. Bakker 1997.

Akzo Nobel, voormalig bedrijfsterrein Weert: saneringsplan.

Tauw Milieu, rapportnr. R3447030.T02, Deventer.

Beinat, E., C. van den Brink, J.G.M. Koolenbrander, M. in 't Veld en H.J. Vermeulen, 1998.

Kosteneffectiviteit van bodemsanering. Een afwegingssysteem voor verontreinigingen in het mobiele regime.

CUR/NOBIS-rapport 96.940, CUR/NOBIS, Gouda.

Davis, E.L., 1997.

How heat can enhance in situ soil and aquifer remediation: Important chemical properties and guidance on choosing the appropriate technique.

Ground Water Issue, EPA/540/S-97/502, United States Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, Office of Research and Development.

Grondmechanica Delft, 1997.

Toepassing van biosparging op het terrein van EPON te Nijmegen.

GeoDelft, rapportnr. CO-376260/8, Delft.

Heron, G., 1997.

Using elevated temperatures to enhance in situ remediation in low-permeable soils and ground-water: Technology and science.

Paper and oral presentation at ATV Vintermoede om Grundvandsforurening, Vingsted, Denmark.

Heron, G., M. van Zutphen, T.H. Christensen en C.G. Enfield, 1998a.

Soil heating for enhanced remediation of chlorinated solvents: A laboratory study on resistive heating and vapor extraction in a silty, low permeable soil contaminated with trichloroethylene.

Environmental Science and Technology, Vol. 32, No. 10, pp. 1474-1481.

Heron, G., T.H. Christensen en C.G. Enfield, 1998b.

Henry's law constant for trichloroethylene between 10 and 95 °C.

Environmental Science and Technology, Vol. 32, No. 10.

Hetterschijt, R.A.A., C.B.M. te Stroet, F.A. Hanneman, R.M.C. Theelen, A.J.C. Sinke en P.F.M. Gaans, 1999.

Restrisk; Assessment of effectiveness of in situ remediation - Phase 2: Predicting fate & transport and future risks of contaminants.

CUR/NOBIS-rapport 95-2-11, CUR/NOBIS, Gouda, pp. 13-14.

Hetterschijt, R.A.A. en C.B.M. te Stroet, 1998a.

Restrisk; Verspreiding en restrisiko's van restconcentraties in bodem en grondwater - Fase 2: Deelrapport 1: Slimmer saneren met pump & treat; onzekerheden en pompstrategieën.

CUR/NOBIS-rapport 95-2-11, CUR/NOBIS, Gouda.

Hetterschijt, R.A.A. en C.B.M. te Stroet, 1998b.

Restrisk; Verspreiding en restrisiko's van restconcentraties in bodem en grondwater - Fase 2: Natuurlijke afbraak en verspreiding.

NITG 98-115-A, Delft.

Newmark, R.L. en the Dynamic Underground Stripping Project Gasoline Spill site Monitoring Team, 1994.

Demonstration of dynamic underground stripping at the LLNL gasoline spill site.

Dynamic Underground Stripping Project: LLNL Gasoline Spill Demonstration Rapport, Vol. UCRL-ID-116964, Vol. 1-4, Lawrence Livermore National Laboratory, LLNL, Livermore, CA.

Nijboer, M.H., M.A. van Drunen, A.R. Schütte, E. Beinat, J.G.M. Koolenbrander en J.P. Okx, 1998.

Het beslissingsondersteunende systeem RMK voor het beoordelen van varianten voor bodemsanering - Fase 2: Een methodiek gebaseerd op Risicoreductie, Milieuverdienste en Kosten.

CUR/NOBIS-rapport 95-1-03, CUR/NOBIS, Gouda.

TreeAge Software Inc., 1999.

DATA 3.5 User Manual, Williamstown, MA, U.S.A.

<http://www.treeage.com>

Udell, K. en L. Stewart, 1989.

Field study of in situ steam injection and vacuum extraction for recovery of volatile organic solvents.

UCB-SEEHRL Rapportnr. 89-2, University of California, Berkeley.

Wit, J.C.M. de, A.M. Otten, D.W. van den Heuvel, H.M.C. Satijn, L. Schipper, L. Vranken, M.H. Kriekaard, J.J. van der Waarde, H.H.M. Rijnaarts, T.N.P. Bosma., H. Leenaers, K.R. Weytingh, en A.H. van de Velde, 1999.

Verslag Kennis Integratie Sessies (KISs).

CUR/NOBIS-rapport 96.970, CUR/NOBIS, Gouda, pp. 58-59.

BIJLAGE A

VOLLEDIGE TABELLEN EN SCHEMA'S VAN DE CASES

Akzo Nobel, Weert

Tabel A1. Geïdentificeerde faalgebeurtenissen met kansen en kosten

variant b = beide p = p&t m = geman. smart p&t	gebeurtenistak	kansen	kosten
b b	putten moeten weg putten mogen blijven staan	0,1 0,9	
b p m	putten mogen blijven staan op Budelco-terrein niet: duurder ontwerp niet: p&t	0,9 0,1 0,1	installatiekosten installatie + factor debiet verwachte kosten conventionele sanering
b b	geohydrologie wordt gewijzigd door derden ongewijzigde geohydrologie	0,3 0,7	
p p m m	debieten verhogen nieuwe installatie debieten verhogen nieuwe installatie	0,9 0,1 0,8 0,2	factor huidig debiet installatie + factor debiet factor <i>manipulatie</i> debiet installatie + factor <i>manipulatie</i> debiet
p p m m	er is verspreiding verspreiding wordt beheerst er is verspreiding verspreiding wordt beheerst	0,1 0,9 0,3 0,7	
p p p m m m	tussenzandlaag watervoerend pakket beide tussenzandlaag watervoerend pakket beide	0,1 0,1 0,8 0,1 0,1 0,8	
m m	verspreiding wordt bemerkt in monitoringssysteem tussen sanering en manipulatiesysteem verspreiding passeert en komt ongemerkt in manipulatiesysteem	0,9 0,1	
m m	herontwerp manipulatie afdoende nee, herontwerp lukt niet	0,5-0,9 0,5-0,1	ontwerp studie ontwerp studie
m m	herontwerp saneringssysteem geen soelaas → p&t	0,8 0,2	ontwerp studie + factor debiet verwachte kosten conventionele p&t
m m	verontreiniging bemerkt in manipulatiesysteem verontreiniging stroomafwaarts	0,95 0,05	verwachte kosten p&t
p p m m	ontwerp optimaal ontwerp overgedimensioneerd ontwerp optimaal ontwerp overgedimensioneerd	0,8 0,2 0,8 0,2	factor < 1 debiet factor < 1 debiet
b b	onttrekkingsputten cloggen onttrekkingsputten cloggen niet	0,5/0,6 ² 0,5/0,4	
m m	lekkende leidingen geen lek	0,2 0,8	

² p1/p2 geven de kansen voor de pump & treat variant versus de manipulatievariant

m	leidingen verstopt	0,1	vervangen leidingensysteem
m	filters verstopt	0,1	vervangen inf. putten + leidingensysteem
m	beide verstopt, zie voorgaande	0,8	
p	infiltratienorm Fe niet gehaald 50 µg/l - 1mg/l	0,5	
p	infiltratienorm Fe wel gehaald	0,5	
m	lozingsnorm Fe niet gehaald 3 mg/l	0,5	
m	lozingsnorm Fe wel gehaald	0,5	
b	geen actief kool	0,9	
b	na 5 jaar actief kool	0,01	debiet x vervangingswaarde per jaar x NCW
b	na 10 jaar actief kool	0,09	debiet x vervangingswaarde per jaar x NCW
b	lozingsnorm VOCL gehaald	0,95/0,8	
b	duurder dan verwacht	0,05/0,2	debiet x factor
b	lozingsnorm Cd/Zn gehaald	0,9/0,8	
b	duurder dan verwacht	0,1/0,2	debiet x factor
b	technisch oplosbaar MPPE	0,9	hogere kosten zuivering
p	technisch niet oplosbaar	0,1	smart p&t + lozingskosten riool
m	technisch niet oplosbaar	0,1	lozingskosten riool
p	lozingsnorm Fe gehaald 3 mg/l	0,9	
p	lozingsnorm Fe niet gehaald	0,1	

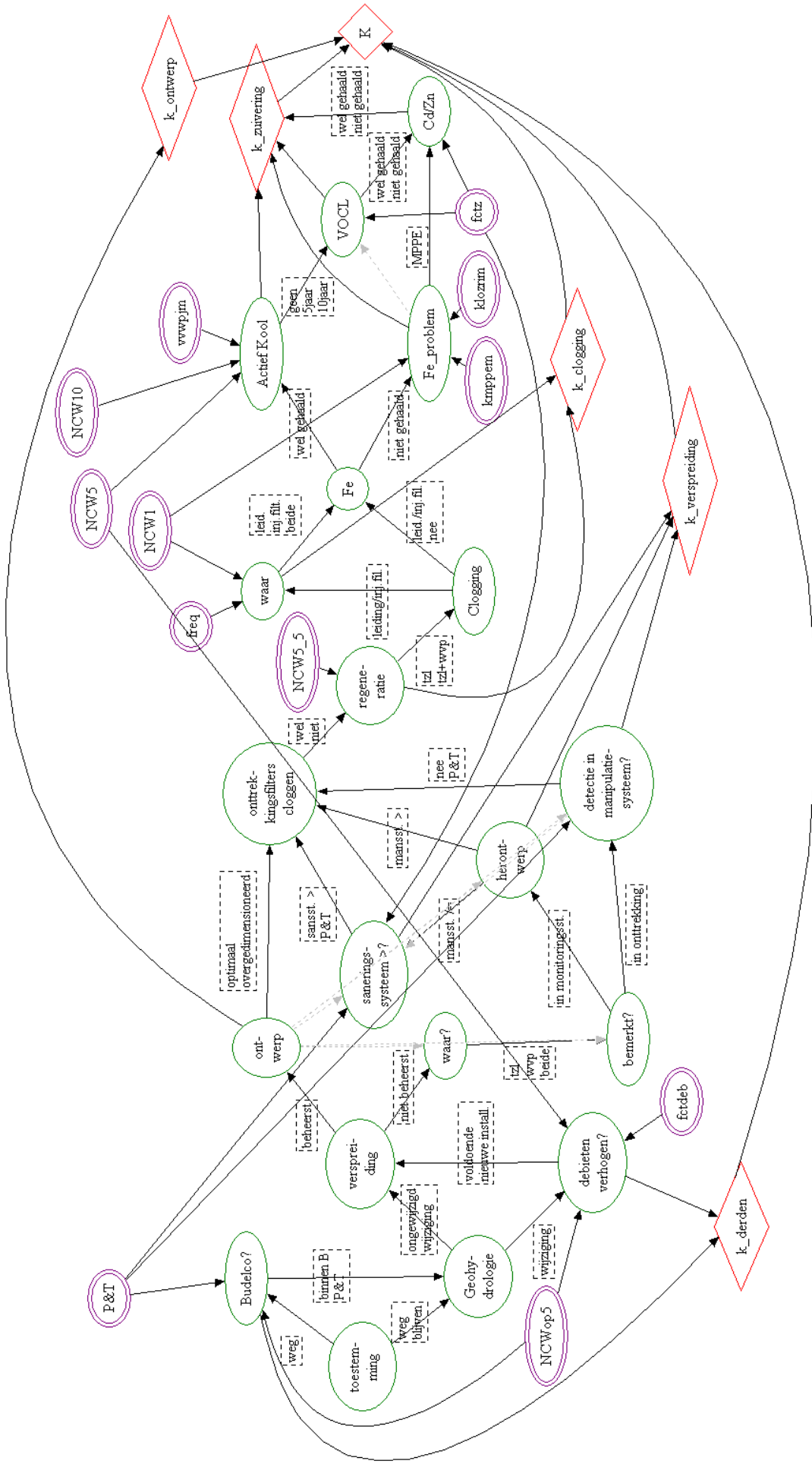


Fig. A2. Invloedsdiagram van de gemanipuleerde smart p&t variant.

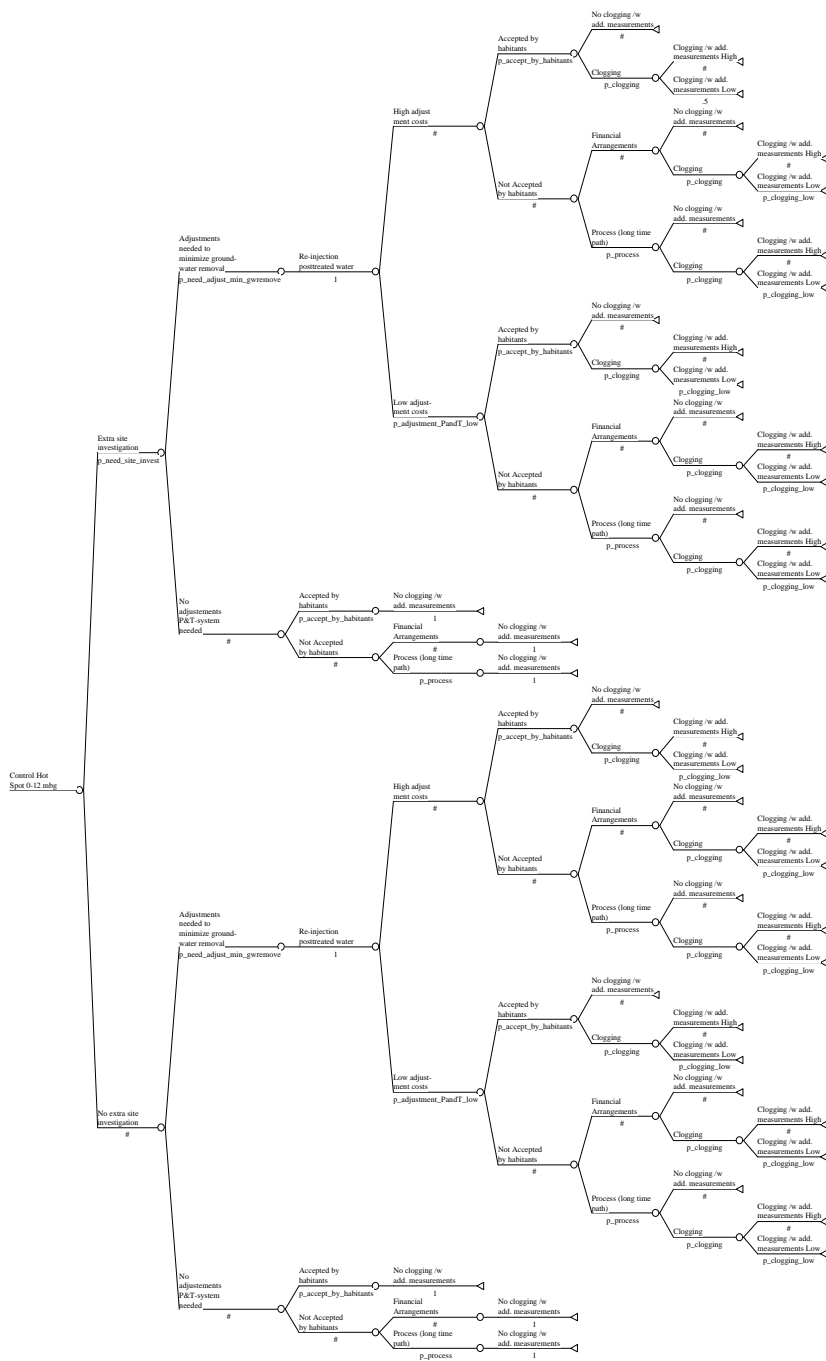


Fig. A3. Boomstructuur van de pump & treat case Tilburg.

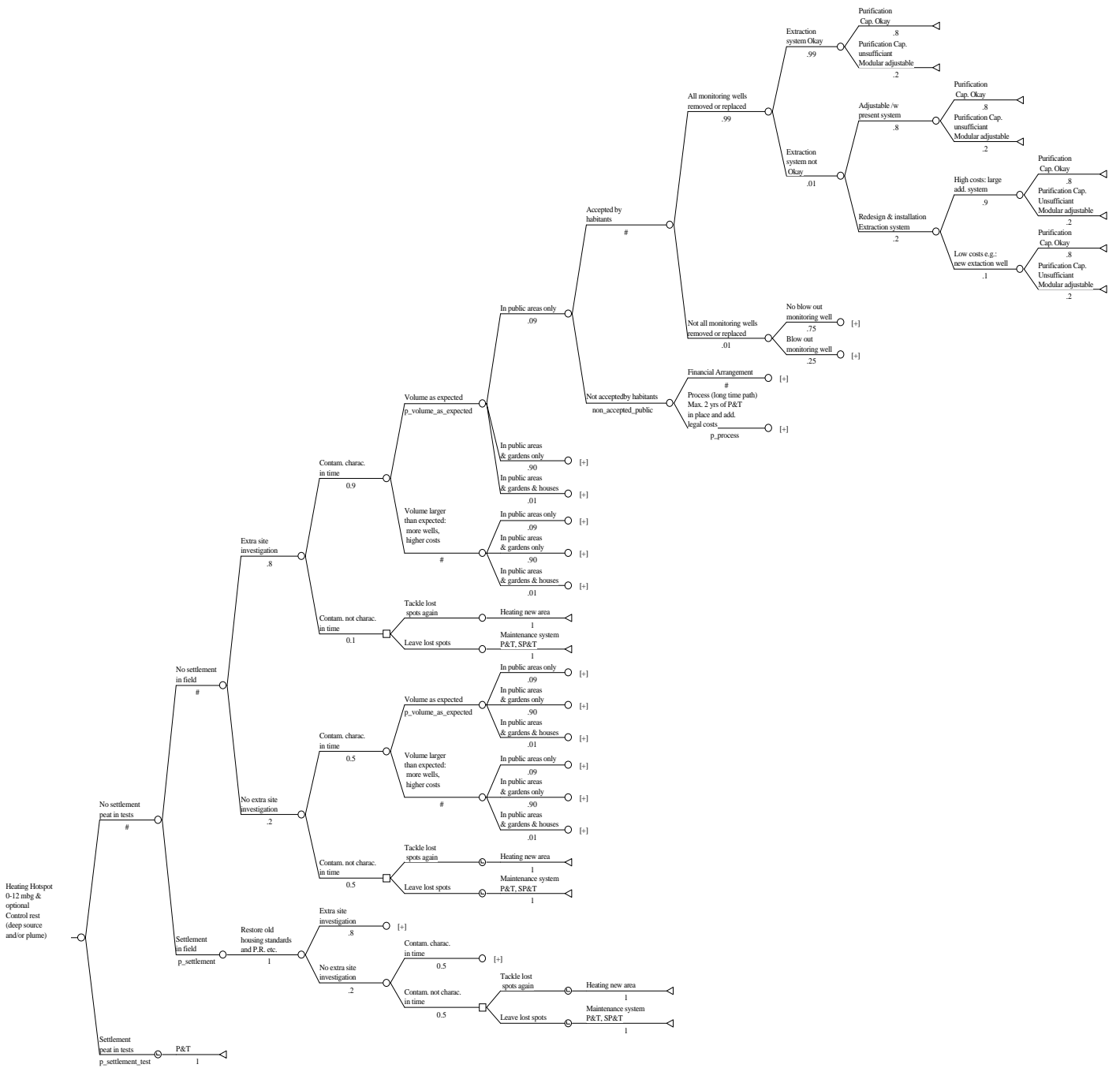


Fig. A4. Boomstructuur van de stoominjectie case Tilburg.

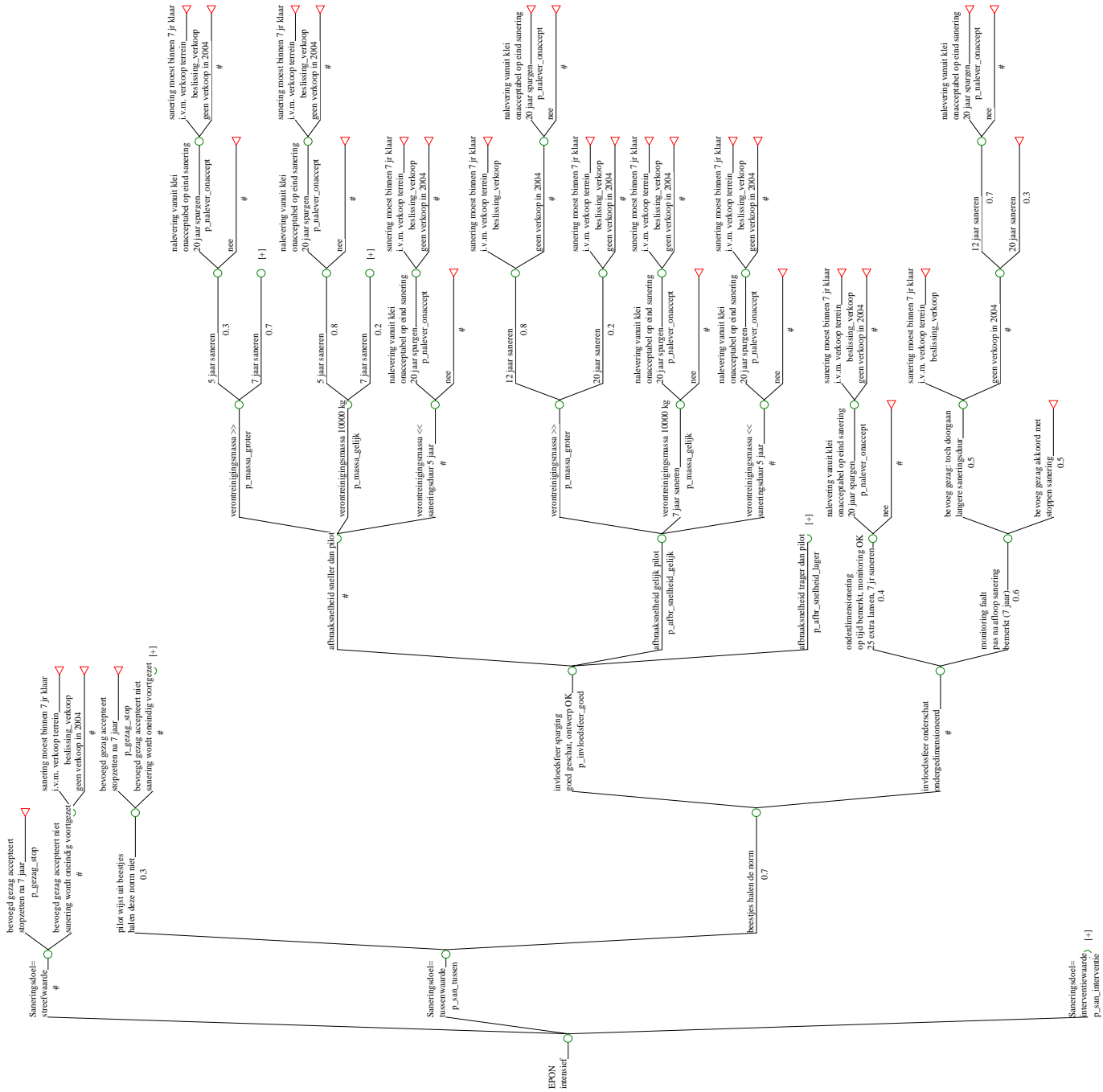


Fig. A5. Boomstructuur EPON: intensief.

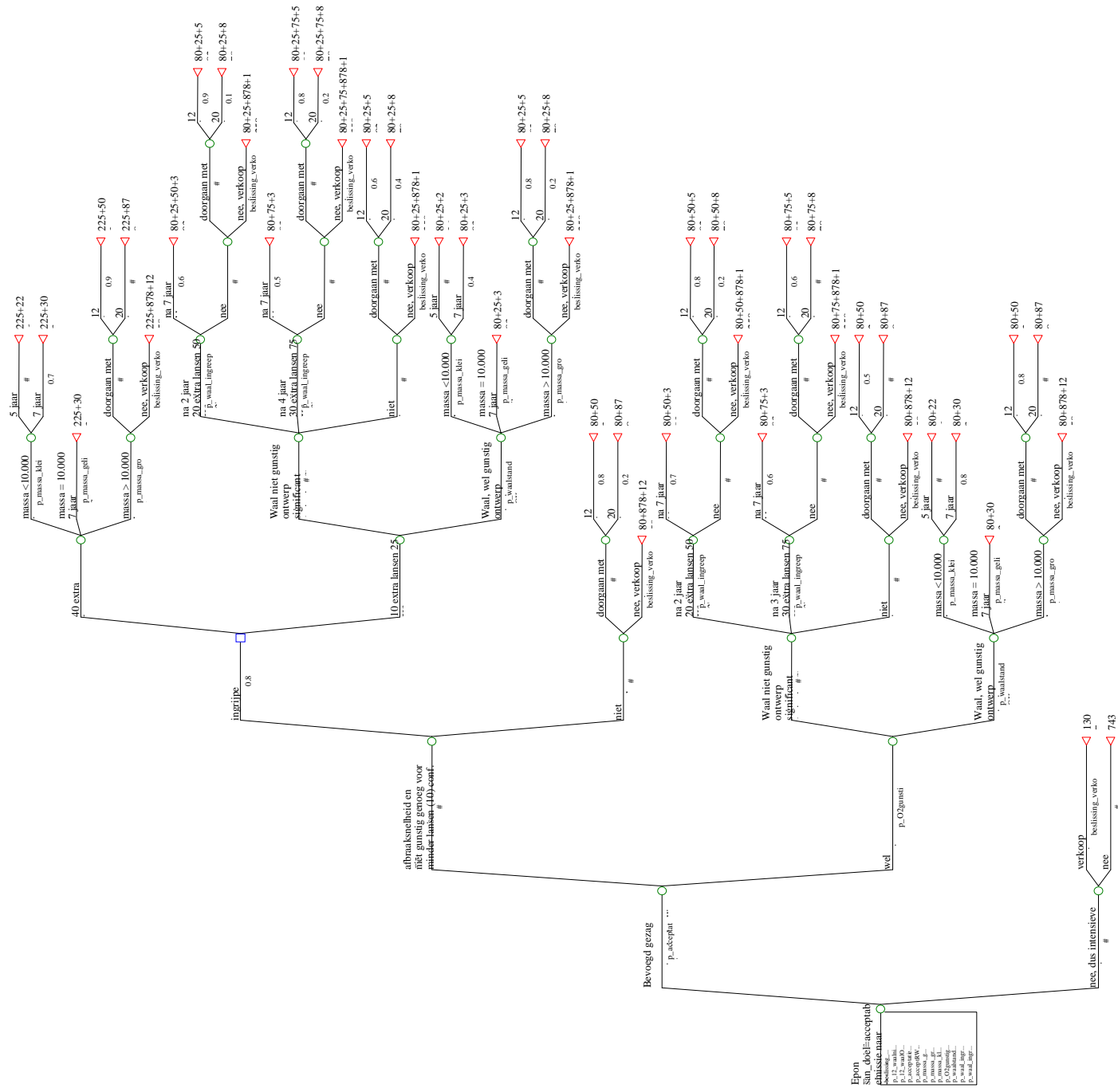


Fig. A6. Boomstructuur EPON: extensief.

BIJLAGE B

OPZET VAN HET FORUM KFR 16 JUNI 1999 EN EVALUATIE

PROGRAMMA

13:15	Ontvangst
13:30	Welkomstwoord en inleiding door de dagvoorzitter dr. Henk Leenaers, NITG-TNO
13:40	Toelichting op de kwantitatieve risicoanalyse door drs. Hans de Sain, BdS
14:00	Achtergronden van de voorbeeldcase 'X' door dr.ir. Chris te Stroet, NITG-TNO
14:30	Variantkeuze op basis van achtergronden met aansluitend pauze
14:45	Interactieve risicoanalyse-sessie voorgezeten door dr. Henk Leenaers
15:15	Plenaire presentatie van de resultaten door dr.ir. Chris te Stroet
15:30	Variantkeuze op basis van interactieve sessie met aansluitend pauze
15:45	Terugkoppeling en afronding
16:00	Afsluiting en borrel

EVALUATIEFORMULIER FORUM

KWANITIFICERING VAN FINANCIËLE RISICO'S VAN SANERINGSVARIANTEN

Ten aanzien van de Methodiek

- 1) Heeft u door deze middag voldoende inzicht verkregen voor het beoordelen wat de voor- en nadelen zijn van deze methodiek?

Zeer zeker Geheel niet
1 2 3 4 5

- 2) Ziet u een toegevoegde waarde van het toepassen van deze methodiek voor het evalueren van saneringsvarianten?

Zeer zeker Geheel niet
1 2 3 4 5

- 3) Is deze methodiek naar uw inzicht goed toepasbaar binnen uw werkveld?

Zeer zeker Geheel niet
1 2 3 4 5

- 4) Zo ja, acht u de kans aanwezig dat u deze techniek zelf gaat/laat toepassen?

Zeer zeker Geheel niet
1 2 3 4 5

- 5) Heeft u behoefte aan meer (achtergrond) informatie ten aanzien van deze techniek?

Zeer zeker Geheel niet
1 2 3 4 5

- 6) Bent u geïnteresseerd in een digitale kopie van het eindrapport van het NOBIS-project?

Zeer zeker Geheel niet
1 2 3 4 5

Zo ja, naar welk email-account kunnen wij het sturen?

Ten aanzien van het Forum

- 7) Voldeed de opzet van het forum voldoende aan uw verwachtingen?

Zeer zeker Geheel niet
1 2 3 4 5

- 8) Was de wijze van uitvoering adequaat?

Zeer zeker Geheel niet
1 2 3 4 5

Heeft u nog opmerkingen en suggesties? laat het ons dan a.u.b. weten.

BIJLAGE C

RMK-METHODIEK

Het doel van RMK is een beoordelingskader te bieden voor bodemsaneringsvarianten op basis van de aspecten Risicoreductie, Milieuverdienste en Kosten. Hierdoor kan de effectiviteit van verschillende saneringsmaatregelen inzichtelijk wordt gemaakt voor het besluitvormingsproces. Het RMK-model is uitgewerkt in een spreadsheetprogramma. In deze spreadsheets worden de verschillende berekeningen, die nodig zijn voor een RMK-beoordeling, uitgevoerd. De invoer van RMK wordt gebaseerd op de gegevens uit een saneringsonderzoek. Niet alle gegevens kunnen soms uit een saneringsonderzoek worden gehaald. In die gevallen zullen de parameters moeten worden geschat door saneringsexperts. Hieronder volgt een korte beschrijving hoe risicoreductie, milieuverdienste en kosten in RMK worden bepaald. Voor een uitgebreidere beschrijving wordt verwezen naar het CUR/NOBIS-rapport 95-1-03 [Nijboer et al., 1998].

Risicoreductie

Risicoreductie berekent de afname van de blootstelling ten gevolge van de verontreiniging voor, tijdens en na de sanering op de locatie voor mensen en ecosysteem.

Voor de berekening van de blootstelling bij het huidige of toekomstige functiegebruik kan gebruik worden gemaakt van blootstellingsmodellen (b.v. CSOIL of SUS). Uiteindelijk wordt voor elke variant een procentuele afname van de blootstelling gegeven. Hierbij wordt verondersteld dat alle varianten de humaan toxicologische risico's tot onder MTR-niveau terugbrengen. Afhankelijk van de locatie is het mogelijk om alleen ecologische of humane risico's te beschouwen.

Milieuverdienste

Milieuverdienste geeft een integraal beeld van de negatieve en positieve effecten op het milieu van de verontreiniging of als gevolg van de saneringsoperatie. Het uitgangspunt is dat de negatieve gevolgen voor het milieu zo klein mogelijk moeten zijn en dat de grondstofvoorraden zo veel mogelijk beschikbaar moeten zijn voor toekomstige generaties. De beoordeling van milieuverdienste gebeurt door een beschrijving van de volgende aspecten:

Positieve aspecten

1. Schone grond door sanering (maximaliseren van multifunctionaliteit).
2. Schoon grondwater door sanering (maximaliseren van voorraad grondwater).
3. Voorkomen van toekomstige grondwaterverontreiniging (handhaven van voorraad grondwater).

Negatieve aspecten

1. Gebruik van schone grond (tegengaan van uitputting).
2. Gebruik van schoon grondwater (tegengaan van uitputting).
3. Gebruik van energie (tegengaan van uitputting).
4. Oppervlaktewaterverontreiniging (tegengaan van eutrofiëring, niet-lokale ecotoxiciteit).
5. Luchtverontreiniging (tegengaan van broeikas effect, verzuring, smogvorming, eutrofiëring).
6. Finaal afval (tegengaan van niet-lokale aquatische en terrestrische ecotoxiciteit).
7. Ruimtebeslag (tegengaan van ruimtebeslag).

Om alle aspecten bij elkaar op te kunnen tellen tot één eindscore wordt gebruik gemaakt van een normalisatiefactor en een weegfactor. De normalisatiefactor is de referentiescore voor een bepaald aspect voor een zogenoemd 'gemiddeld' bodemsaneringsgeval. De weegfactor geeft

aan hoe belangrijk het aspect is. De normalisatiefactor en de weegfactor zijn ontwikkeld op basis van interviews met diverse deskundigen. De gebruiker kan zelf (indien gewenst) de onderlinge gewichten van de aspecten aanpassen.

Onzekerheden in de verschillende aspecten van de milieuverdienste kunnen in RMK worden meegenomen. Per aspect kan de onzekerheid in de score in % worden ingevoerd. Hiermee wordt de onzekerheid van de uiteindelijke score op de milieuverdienste berekend. Enig gevoel over het effect van een onzekere factor op de uitkomst van een aspect is nodig om de uiteindelijke onzekerheid voor een bepaald aspect in te kunnen schatten. Dit wordt veroorzaakt doordat aspecten uit meerdere factoren kunnen bestaan; voor het berekenen van het aspect schone grond moeten zowel gehalten als volumes worden ingevoerd, waarbij in beide factoren verschillende onzekerheden kunnen bestaan.

Kosten

Kosten maken de financiële gevolgen van de sanering in de tijd inzichtelijk. Dit gebeurt door middel van een rubricering (investeringskosten, doorlopende kosten, vervangingskosten, overhead en overige kosten) en een afwegingsmodel. De rubricering is overgenomen uit de "Leidraad Bodemsanering". In het afwegingsmodel worden de 'tijdswaarde van geld' (disconteren) en onzekerheden in de saneringskosten meegenomen.

Disconteren

Vooraf indien de kosten van saneringsvarianten in verschillende perioden worden gemaakt, is het voor het vergelijken van de kosten van de saneringsvarianten noodzakelijk om rekening te houden met de tijdswaarde van geld. Voor een onderlinge vergelijking van kosten van saneringsvarianten met een verschillend verloop van de uitgaven in de tijd, worden in RMK alle uitgaven toegerekend naar één moment. De berekening maakt gebruik van de disconteringsvoet. De disconteringsvoet is een maat voor de tijdswaarde van geld en heeft dus te maken met de rente. In RMK is de default-waarde van de disconteringsvoet 0,05. De hoogte van de disconteringsvoet kan ook worden aangepast in RMK. Dit kan bijvoorbeeld gewenst zijn voor het bedrijfsleven indien een bedrijf een eigen disconteringsvoet heeft. Afhankelijk van het risicoprofiel van een onderneming wordt vaak een bepaald rendement van de onderneming geëist. Dit rendement kan worden gebruikt als maat voor de disconteringsvoet.

Onzekerheden

De onzekerheden in kosten kunnen worden meegenomen door voor elke kostenpost op te geven wat de meest waarschijnlijke waarde is, wat de geschatte laagste waarde is en wat de geschatte hoogste waarde is. Bij deze schattingen moet worden uitgegaan van normale onzekerheden. Dit zijn onzekerheden die betrekking hebben op de raming van hoeveelheden, prijzen en tijdsduur van de sanering. Bijzondere gebeurtenissen, die grote gevolgen kunnen hebben voor de kosten van het project maar die slechts met een kleine waarschijnlijkheid optreden, worden niet meegenomen. Bij bijzondere gebeurtenissen kan worden gedacht aan een jarenlange in situ sanering die uiteindelijk niet het gewenste resultaat levert, waardoor uiteindelijk toch besloten moet worden tot ontgraving.

Doordat wordt uitgegaan van normale onzekerheden kan voor de kwantificering van de onzekerheden gebruik worden gemaakt van een driehoekige kansdichtheidsfunctie voor elke individuele kostenpost. De uiteindelijke kansdichtheidsfunctie benadert dan een normale verdeling. De totale raming van de kosten, waarbij elke kostenpost een driehoekige kansdichtheidsfunctie heeft, wordt als volgt berekend:

1. Per kostenpost wordt het gemiddelde berekend van de meest waarschijnlijke waarde (W), de laagste waarde (L) en de hoogste waarde (H).

2. Per kostenpost wordt de variantie berekend met de volgende formule (zie de syllabus "Voorzien, onvoorzien of onzeker" van de Technische Universiteit Delft):

$$\sigma^2 = \frac{1}{18} (H^2 + L^2 + W^2 - LW - LH - HW)$$

3. De verwachtingswaarde is de optelling van alle gemiddelden zoals berekend onder 1.
4. De standaardafwijking van de verwachtingswaarde wordt berekend door de wortel te nemen van de som van alle varianties. Hierbij wordt aangenomen dat de alle kostenposten onafhankelijk zijn.

Door middel van de standaardafwijking wordt inzicht verkregen in de onzekerheid van de kosten van de sanering. Naast de verwachte kosten geeft RMK ook gewaardeerde kosten van de saneringsvarianten. In de gewaardeerde kosten wordt de onzekerheid direct meegenomen door de standaardafwijking op te tellen bij de verwachte kosten.

De in RMK gebruikte berekeningswaarde betekent dat, indien de driehoeksverdeling van een kostenpost scheef is, de verwachte totale kosten van de sanering niet gelijk is aan de optelsom van alle ingevoerde verwachtingswaarden. Een scheve driehoeksverdeling ontstaat wanneer de geschatte laagste waarde meer of minder afwijkt van de verwachtingswaarde dan de geschatte hoogste waarde.

Doordat wordt aangenomen dat de verschillende kostenposten onafhankelijk zijn, wordt de spreiding in de kosten waarschijnlijk kleiner dan deze in werkelijkheid is. In werkelijkheid kan er namelijk wel een verband bestaan tussen verschillende kostenposten. Zo kan er een verband zijn tussen de onzekerheden in kosten van bijvoorbeeld ontgravingskosten en verwerkingskosten van de grond. Voor beide worden de onzekerheden namelijk bepaald door de totale hoeveelheid vervuilde grond.

RMK-beoordeling

Uiteindelijk levert RMK drie indices. Elke index geeft een score voor respectievelijk de Risicoreductie, Milieuverdienste en Kosten van de verschillende varianten. De uiteindelijke keuze is afhankelijk van de prioriteit die de beslisser(s) aan R, M, K en aan mogelijke andere factoren geeft. Een mogelijke factor, die niet in RMK is meegenomen maar die toch relevant kan zijn, is bijvoorbeeld overlast voor omwonenden. Ook kunnen mogelijke onzekerheden in onderscheidende aspecten van saneringsvarianten, indien deze invloed hebben op de uitkomst van de RMK-beoordeling, in de beslissing worden meegenomen.

BIJLAGE D

RMK-BEOORDELING VOOR CASE AKZO NOBEL, WEERT

Voor de locatie van Akzo Nobel te Weert wordt een afweging gemaakt tussen twee beheersvarianten; een pump & treat variant (basisvariant) en een gemanipuleerde smart pump & treat variant (manipulatievariant). De verontreinigingssituatie en de saneringsvarianten zijn beschreven in hoofdstuk 3. De belangrijkste kenmerken van de varianten voor de RMK-beoordeling zijn:

- De basisvariant pompt minder grondwater op dan de manipulatievariant (420 vs. 572 m³/dag), maar al het opgepompte water moet bij de basisvariant worden gezuiverd en wordt na zuivering geloosd op het oppervlaktewater.
- Bij de manipulatievariant is het grootste deel van het opgepompte grondwater (500 m³/dag) schoon grondwater wat zonder zuiveringsstap weer wordt geïnfiltrerd.
- Het bij de manipulatievariant opgepompte verontreinigde grondwater (72 m³/dag) wordt ter plaatse van de hot spots onttrokken, waardoor een grotere vrachtverwijdering wordt verwacht.
- De tijdsduur waarop de verschillende aspecten van beide varianten wordt bekeken is 30 jaar.

De volgende bronnen zijn gebruikt voor het verkrijgen van de invoergegevens voor de RMK-beoordeling:

- Aanvullend nader onderzoek voormalig bedrijfsterrein Akzo Nobel te Weert (1996, Tauw-rapport R3447073.T02/LMB).
- Saneringsplan voormalig bedrijfsterrein Akzo Nobel te Weert (1998, Tauw-rapport RAP\982305.wp1\b).
- Haalbaarheidsonderzoek naar extensieve grondwatersanering van het Akzo bedrijventerrein te Weert (1998, TNO-rapport NITG 98-140A).
- Gesprekken met een projectleider die direct betrokken is bij het project.

De Risicoreductie, Milieuverdienste en Kosten van de beide varianten worden hieronder eerst besproken, waarna de RMK-afweging volgt.

D1 Risicoreductie

D1.1 *Uitgangspunten*

De belangrijkste uitgangspunten voor de bepaling van de risicoreductie zijn (een nadere toelichting volgt hierna):

1. Ecologische risico's worden niet meegenomen, omdat het een bedrijfsterrein betreft met een zeer geringe ecologische waarde.
2. Voor bepaling van de humane risicoreductie wordt alleen gekeken naar tetrachloormethaan en chloroform.
3. De humane risicoreductie wordt gebaseerd op modelmatig voorspelde risico's.
4. Gehalten in het grondwater zijn na 30 jaar gereduceerd met 5 % voor de basisvariant en met 10 % voor de manipulatievariant.
5. De verhouding tussen de gehalten in de grond en in het grondwater blijft constant.

Risicobeoordeling (punt 1, 2 en 3)

In het aanvullend nader onderzoek is een risicobeoordeling uitgevoerd voor de locatie. De risicobeoordeling voorspelt actuele risico's voor de mens op basis van uitdamping van tetra en chloroform. Het voorspelde risico is gevalideerd door middel van metingen van tetra en chloroform in de binnenlucht ter plaatse van hot spots met risico's op uitdamping. Op basis van de gemeten concentraties konden geen actuele risico's voor de mens ten gevolge van de bodemverontreini-

ging worden afgeleid. De risicobeoordeling gaf verder aan dat er geen actuele risico's zijn voor het ecosysteem op het bedrijfsterrein. Gebaseerd op de uitgevoerde risicobeoordeling is voor de bepaling van de risicoreductie met RMK uitgegaan van modelmatig voorspelde humane risico's voor de stoffen die maatgevend zijn voor de risico's, namelijk tetra en chloroform.

Gehalten in grond en grondwater na 30 jaar (punt 4 en 5)

Voor de risicoreductie is een inschatting nodig van de concentraties in de toplaag en in het freatisch grondwater na 30 jaar. Voor het verloop van concentraties in het freatisch grondwater kan een schatting worden verkregen gebaseerd op de te verwachte verdunning van het grondwater door bijvoorbeeld het aantrekken van freatisch grondwater van buiten het terrein. Voor de bepaling van de gehalten in de toplaag wordt vervolgens aangenomen dat de verhouding van de gehalten in de grond en in het grondwater niet verandert in deze 30 jaar.

Doordat beide varianten geen freatisch grondwater onttrekken, kunnen de concentraties alleen afnemen door verdunning. Deze verdunning zal de concentraties nooit sterk kunnen doen dalen. Verwacht wordt echter dat de manipulatievariant een grotere afname van concentraties in het freatisch grondwater kan bewerkstelligen. Bij de manipulatievariant wordt namelijk vlak onder het freatisch grondwater onttrokken, waardoor een grotere neerwaartse en zijwaartse stroming wordt verkregen en meer verdunning zal optreden. De basisvariant onttrekt grondwater buiten het terrein. De verwachte reductie van de concentraties in het freatisch grondwater is 5 % voor de basisvariant en 10 % voor de manipulatievariant.

D1.2 Resultaten

In tabel D1 zijn de resultaten van de risicoreductie weergegeven. Beide varianten geven slechts een geringe risicoreductie van de humane risico's. De risicoreductie is 4,5 % voor de basisvariant en 10,3 % voor de manipulatievariant. De manipulatievariant scoort dus iets beter. Dit wordt veroorzaakt doordat bij de manipulatievariant door onttrekking ter plaatse van de hot spots een grotere verdunning van het freatisch grondwater wordt verwacht. Opgemerkt wordt dat er geen actueel humaan risico is ten gevolge van de bodemverontreiniging op de locatie. Dit betekent dat de berekende risicoreductie de mate van risicoreductie is onder het huidige niveau.

Doordat de gehalten in de toplaag en in het freatisch grondwater na 30 jaar saneren voor beide varianten moesten worden geschat, is er een onzekerheid in de voorspelde absolute procentuele risicoreductie. Dat beide varianten geen grote risicoreductie laten zien is echter zoals verwacht. Doordat ook met zekerheid kan worden aangenomen dat de manipulatievariant voor een grotere verdunning kan zorgen van het freatisch grondwater dan de basisvariant zal, ondanks onzekerheden in absolute gehalten, de manipulatievariant altijd beter scoren dan de basisvariant.

Tabel D1. Resultaten van de risicoreductie.

prestatietabel van risicoreductie	basisvariant	manipulatievariant
blootstelling aan mensen	4,5 %	10,3 %
blootstelling aan ecosystemen*	-	-
blootstelling aan overige objecten*	-	-
totaal	4,5 %	10,3 %

* Blootstelling aan ecosystemen en overige objecten (b.v. saneringswerkers of monumenten met cultuurhistorische waarde) zijn niet meegenomen in deze beoordeling en geven dus ook geen risicoreductie.

D2 Milieuverdienste

D2.1 *Uitgangspunten*

Voor de bepaling van de milieuverdienste voor deze case gelden de volgende uitgangspunten:

1. Voor de bepaling van de milieuverdienste zijn tetra, chloroform en PER meegenomen.
2. De verwachte vrachtverwijdering voor beide varianten na 30 jaar wordt gebaseerd op de verwachte concentraties aan verontreinigingen in het opgepompte grondwater.
3. De verhouding tussen de gehalten in de grond en in het grondwater verandert niet in deze 30 jaar.
4. Doordat beide varianten verdere verspreiding van de grondwaterverontreiniging voorkomen is de factor 'voorkomen verontreiniging grondwater' voor beide varianten gelijk. Deze factor is daarom niet meegenomen in de RMK-beoordeling.
5. De grenswaarden, nodig voor het berekenen van oppervlaktewateremissies, van tetra, chloroform en PER zijn gelijkgesteld aan de grenswaarde van TRI (2 µg/l).

Verontreinigingen (punt 1)

Voor de bepaling van de milieuverdienste zijn de voor deze locatie de stoffen met een grote vracht aan verontreiniging en een actueel verspreidingsrisico bekeken. Dit zijn tetra, chloroform en PER.

Gehalten in grond en grondwater na 30 jaar (punt 2 en 3)

Voor de milieuverdienste zijn de gemiddelde gehalten in de grond en in het grondwater voor het gehele terrein nodig voor en na de sanering. De gemiddelde concentraties zijn gebaseerd op vrachtberekeningen. Hierbij is op basis van de gemiddelde gemeten concentraties de vracht aan verontreiniging per deelgebied ingeschat. De gemiddelde concentratie op de locatie is vervolgens berekend door de vrachten per deelgebied op te tellen en te relateren aan het totale volume grond en grondwatervolume. De verwachte vrachtverwijdering voor beide varianten na 30 jaar wordt gebaseerd op de verwachte concentraties aan verontreinigingen in het opgepompte grondwater. Aangenomen is dat de verhouding tussen de gehalten in de grond en in het grondwater niet verandert in deze 30 jaar.

Doordat de manipulatievariant ter plaats van de hot spots onttrekt en de onttrekkingsputten van de basisvariant buiten het terrein zijn gesitueerd, wordt verwacht dat het verloop van de concentraties in het opgepompte water voor beide varianten verschillend is. In overleg met de projectleider van het project zijn de in figuur D1 gegeven concentratieprofielen bepaald.

Voor de basisvariant worden 3 perioden onderkend:

- Periode 1, eerste 10 jaar: exponentiële toename van concentraties vanaf nul naar de huidige gemiddelde concentraties in het grondwater. Door positionering stroomafwaarts van de grote bulk van verontreiniging duurt het even voordat verontreinigd water wordt opgepompt. Concentraties in het opgepompte grondwater zijn door verdunning niet hoog.
- Periode 2, tweede 10 jaar: een constante nalevering van verontreiniging.
- Periode 3, laatste 10 jaar: exponentiële afname van concentraties; 50 jaar na de start van deze periode zullen de concentraties niet meer dalen doordat de nalevering zeer langzaam verloopt.

Bij de manipulatievariant wordt aangenomen dat de exponentiële fase direct start bij de aanvang van de sanering. Hierdoor nemen de concentraties direct exponentieel af, waarbij 50 jaar na de aanvang van de sanering de concentraties in het opgepompte grondwater niet meer zullen dalen. De aanvangsconcentraties zijn veel hoger dan bij de basisvariant doordat er direct ter plaatse van de hot spots onttrokken wordt. De aanvangsconcentraties in het opgepompte

grondwater voor de verschillende stoffen zijn voor de manipulatievariant gegeven in het saneringsplan.

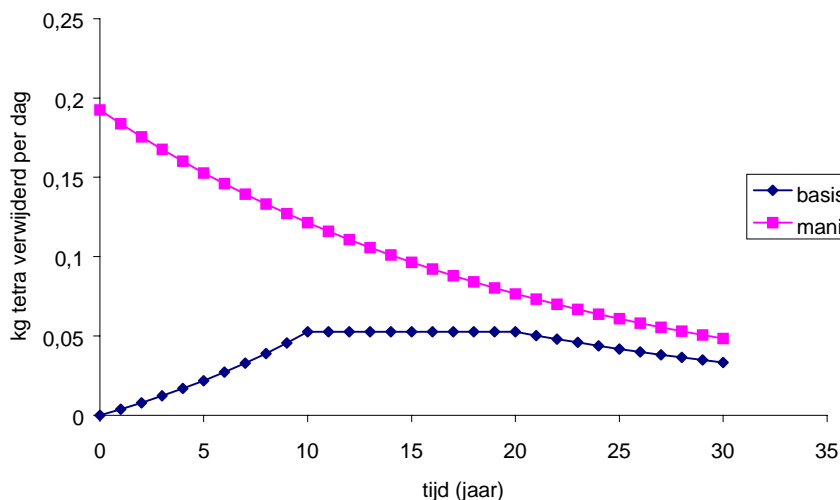


Fig. D1. Geschatte concentratieverloop in opgepompt grondwater.

Oppervlaktewateremissies (punt 5)

In de beoordeling van de milieuverdienste van de varianten wordt ook gekeken naar de oppervlaktewateremissies. In het saneringsplan wordt vermeld dat de te lozen concentratie aan totaal CKW op het oppervlaktewater gelijk is aan 20 µg/l. Voor het berekenen van de factor oppervlaktewateremissies in RMK is een grenswaarde nodig voor verontreinigingen in het oppervlaktewater. Voor zowel tetra, chloroform, PER en totaal CKW zijn geen grenswaarden bekend. Om dit probleem op te lossen is gebruik gemaakt van de grenswaarde voor TRI; deze is gelijk aan 2 µg/l. Aangezien de HC₅₀ voor TRI, PER, chloroform en tetra gelijk zijn en de grenswaarden gebaseerd worden op ecologische risico's, is gekozen om de grenswaarde van totaal CKW gelijk te stellen aan die van TRI.

D2.2 Resultaten

De resultaten van de milieuverdienste zijn gegeven in figuur D2; de berekende waarden van alle factoren zijn gegeven in tabel D2.

Tabel D2. Milieuverdienste van gewogen prestaties met default-gewichtenset.

factor	basisvariant	manipulatievariant
A1 schone grond door sanering	2,802	6,468
A2 schoon grondwater door sanering	0,062	0,12
A3 voorkomen verontreiniging grondwater	0	0
A4 verlies aan grond	0	0
A5 verlies aan grondwater	-0,267	-0,092
A6 energiegebruik	-0,1	-0,111
A7 luchtmissies	-0,118	-0,131
A8 oppervlaktewateremissies	-3,736	-1,281
A9 finaal afval	-0,223	-0,037
A10 ruimtebeslag	-0,083	-0,041
M-index	-1,663	4,895

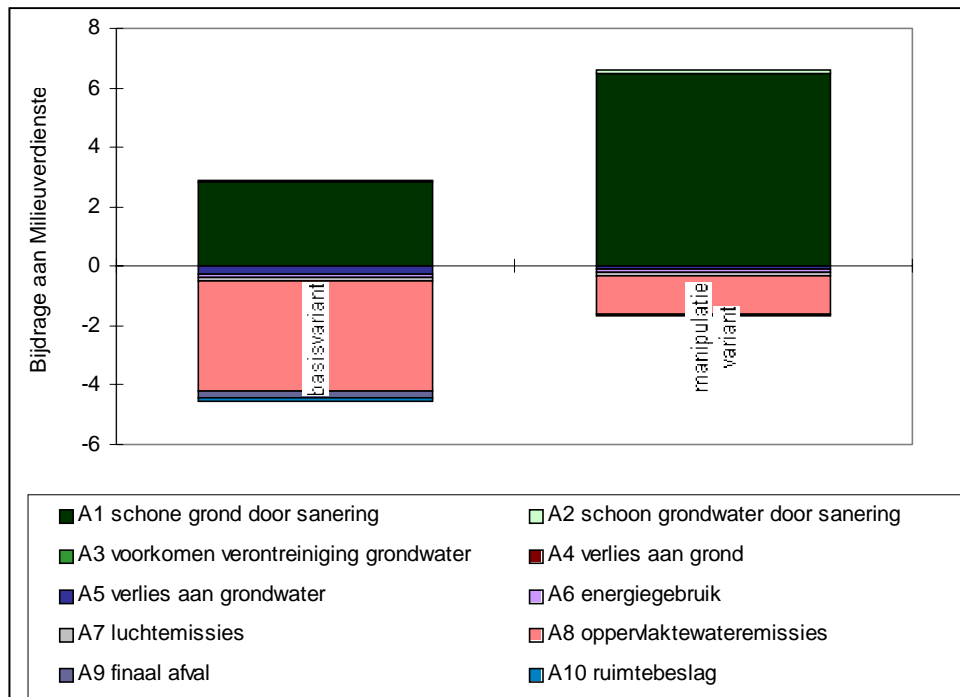


Fig. D2. Resultaten van de milieuverdienste.

Uit figuur D2 blijkt duidelijk dat de grootste positieve factor voor beide varianten de factor schone grond is, terwijl de grootste negatieve factor voor beide varianten oppervlaktewateremissies is.

Hieronder worden de belangrijkste factoren en de onzekerheden daarin, voor zover deze invloed kunnen hebben op het eindresultaat, besproken.

A1 en A2: schone grond en schoon grondwater door sanering

Bij beide varianten telt de factor schone grond sterker mee dan de factor schoon grondwater ondanks dat er verhoudingsgewijs evenveel grondverontreiniging wordt verwijderd als grondwaterverontreiniging. Dit wordt veroorzaakt doordat de berekende vracht in de grond een factor 6 groter is dan de berekende vracht in het grondwater. Hierdoor is de absolute hoeveelheid verwijderde vracht uit de grond veel groter dan de absolute hoeveelheid verwijderde vracht uit het grondwater. De factor schone grond telt dan veel sterker mee.

In de bepaling van het te bereiken eindresultaat na sanering, dat wil zeggen de geschatte concentraties verontreinigingen en verontreinigde volumes grond en grondwater na 30 jaar, zit een grote onzekerheid. Dit zorgt voor een onzekerheid in de absolute waarde van deze factor en dus ook in de absolute waarde van de milieuverdienste. Doordat de manipulatievariant echter veel gerichter onttrekt, kan worden aangenomen dat deze variant altijd een betere vrachtverwijdering zal laten zien. Hierdoor wordt verwacht dat, ondanks de onzekerheid in deze factor, de manipulatievariant altijd beter zal scoren dan de basisvariant.

A5: verlies aan grondwater

Bij de basisvariant wordt de helft van het opgepompte grondwater geïnfiltreerd en bij de manipulatievariant wordt bijna 90 % van het opgepompte grondwater geïnfiltreerd. Hierdoor is het verlies aan grondwater voor de basisvariant groter.

A6 en A7: energiegebruik en luchtmissies

Het energieverbruik en de luchtmissies zijn voor beide varianten ongeveer gelijk. De extra hoeveelheid te zuiveren water bij de basisvariant weegt ongeveer op tegen de extra hoeveelheid op te pompen water bij de manipulatievariant.

A8: oppervlaktewateremissies

Voor het bepalen van de oppervlaktewateremissies is een grenswaarde voor totaal CKW's gelijk gesteld aan de grenswaarde voor trichlooretheen. Deze grenswaarde ligt vrij laag, waardoor de oppervlaktewateremissies een grote invloed hebben op de uitslag van de milieuverdienste. Over het belang van deze factor kan gediscussieerd worden. Naast de vraag of de afgeleide grenswaarden reële waarden zijn spelen ook factoren een rol die bepaald worden door het ontvangende water; wat is de afbreekbaarheid van de te lozen stoffen in het ontvangende water, wat zijn de huidige concentraties in het oppervlaktewater, hoe ruim is dit water en stroomt het? Indien de factor oppervlaktewateremissies niet in de RMK-beoordeling wordt meegenomen, wordt het verschil tussen het eindresultaat van de basisvariant en de manipulatievariant kleiner. De manipulatievariant zal echter beter blijven scoren.

A9 en A10: finaal afval en ruimtebeslag

Doordat minder grondwater gezuiverd hoeft te worden, is de hoeveelheid finaal afval en het ruimtebeslag voor de manipulatievariant lager ingeschat dan voor de basisvariant.

Samenvattend kan worden gezegd dat door de gerichtere onttrekking bij de manipulatievariant meer vracht verwijderd wordt, minder grondwaterverlies optreedt, minder gezuiverd hoeft te worden en minder geloosd hoeft te worden. Hierdoor is de milieuverdienste van de manipulatievariant significant groter dan de milieuverdienste van de basisvariant. De manipulatievariant scoort vooral beter op de positieve factor schone grond en de negatieve factor oppervlaktewateremissies.

D3 Kosten

D3.1 Uitgangspunten

Voor de bepaling van de kosten voor deze case gelden de volgende uitgangspunten:

1. Het invoeren van de kosten in RMK is gebeurd in overleg met een projectleider die betrokken is bij het project.
2. Bij het invullen van de kosten is verder uitgegaan van de rubricering in de kosten zoals gegeven in de RMK-spreadsheets.
3. Bij alle kostenposten zijn verwachte, lage en hoge schattingen ingevuld.
4. Voor de disconteringsvoet is de default-waarde van de RMK-spreadsheets gebruikt; deze is gelijk aan 0,05.
5. Kosten voor vervanging van apparatuur en dergelijke worden meegenomen in de doorlopende kosten evenals de jaarlijks terugkerende post algemene kosten, winst en risico. De post algemene kosten, winst en risico van het eerste jaar (jaar 0) is apart opgenomen in de hoofdkostenpost overhead.

D3.2 Resultaten

In figuur D3 zijn de verwachte kosten weergegeven van beide varianten. De verwachte kosten zijn een somming van de verwachtingswaarde van de verschillende kostenposten. De verwachtingswaarde van elke kostenpost is gelijk aan het gemiddelde van de verwachte, lage en hoge kosten. Hierbij zijn de waarden voor alle kosten, die na het jaar 0 worden uitgegeven (voor deze case zijn dit alleen de doorlopende kosten), verdisconteerd. In tabel D3 zijn de verwachte kosten uitgesplitst in de verschillende hoofdkostenposten en worden ook de gewaardeerde

kosten gegeven. In de gewaardeerde kosten is de onzekerheid van de kosten meegenomen, zodat één getal wordt verkregen voor het vergelijken van de varianten.

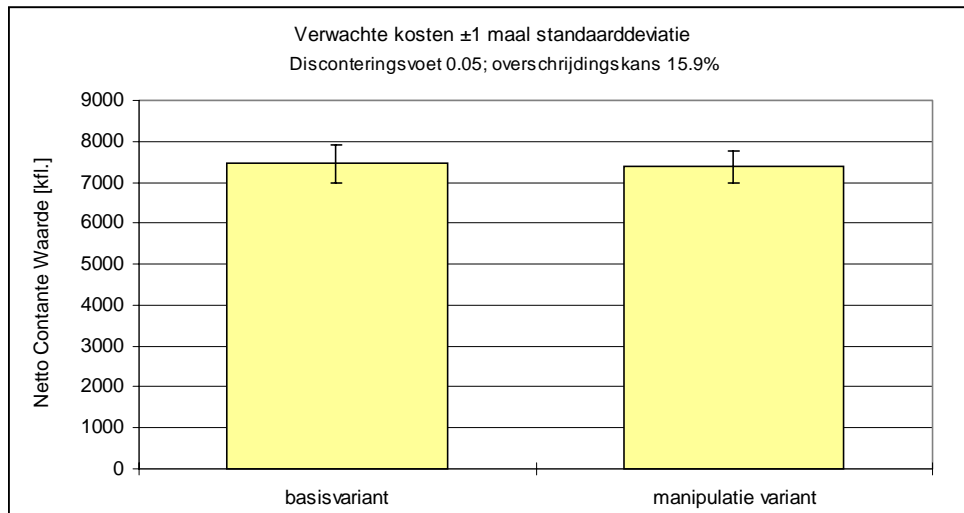


Fig. D3. Verwachte kosten ± 1 maal de standaarddeviatie.

Tabel D3. Verwachte kosten van de saneringsvarianten. De disconteringsvoet is gelijk aan 0,05 (default-waarde RMK).

	basisvariant kosten ± standaarddeviatie (Kf)	manipulatievariant kosten ± standaarddeviatie (Kf)
verwachtingswaarde van stichtingskosten	1405 ± 44	2095 ± 51
verwachtingswaarde van doorlopende kosten	5872 ± 427	5032 ± 320
verwachtingswaarde van overhead	176 ± 10	256 ± 14
totale verwachtingswaarde ¹	7453 ± 480	7382 ± 385
gewaardeerde totale kosten ²	7933	7767

¹ De kostenposten vervangingskosten en overige kosten, die ook in RMK kunnen worden ingevoerd, zijn voor deze beoordeling niet gebruikt (zie uitgangspunten voor deze case).

² De gewaardeerde kosten zijn gelijk aan de verwachtingswaarde, waarbij de standaarddeviatie één keer is opgeteld.

Tabel D3 laat zien dat, ondanks hogere stichtingskosten, de manipulatievariant minder kost dan de basisvariant. Dit wordt met name veroorzaakt doordat de doorlopende kosten van de manipulatievariant lager zijn dan de doorlopende kosten van de basisvariant. Bij beide varianten zijn de doorlopende kosten de grootste kostenpost. De onzekerheid in de doorlopende kosten is voor beide varianten zowel absoluut als relatief gezien groter in de doorlopende kosten dan in de stichtingskosten.

Uit figuur D3 en tabel D3 blijkt dat door de berekende standaarddeviaties het verschil in kosten tussen beide varianten niet significant is. Dit betekent dat binnen de onzekerheidsmarge beide varianten evenveel kosten. De berekende onzekerheid van de verwachte kosten is ± 6,4 % voor de basisvariant en ± 5,2 % voor de manipulatievariant. Deze berekende onzekerheid is kleiner dan de opgegeven onzekerheid voor de verschillende posten. Een belangrijke oorzaak hiervoor is de wijze waarop de verwachte kosten in RMK worden berekend. Voor de verwachte kosten wordt het gemiddelde genomen van de verwachte kosten, de geschatte lage kosten en de ge-

schatte hoge kosten. Bij deze case ligt voor een aantal posten de onzekerheid naar de lage kant anders dan de onzekerheid naar de hoge kant. Door de rekenwijze wordt de berekende onzekerheid ook een gemiddelde van de kleine onzekerheid naar de ene kant en de grotere onzekerheid naar de andere kant. Dit is geen probleem indien kan worden uitgegaan van een normale verdeling van onzekerheden in de kosten, waarbij de onzekerheid van de verschillende posten onafhankelijk van elkaar is. Indien daar eigenlijk niet van kan worden uitgegaan, zal de uiteindelijke onzekerheid waarschijnlijk kleiner zijn dan deze in werkelijkheid is.

Door het belang van de doorlopende kosten voor de totale verwachte kosten speelt de gekozen disconteringsvoet ook een belangrijke rol. Bij een hogere disconteringsvoet worden de kosten die later moeten worden uitgegeven relatief goedkoper. Indien bijvoorbeeld over een jaar f 100,- -- nodig is, zal bij een disconteringsvoet van 0,01 nu f 99,- opzij gelegd en dus betaald moeten worden, terwijl bij een hogere disconteringsvoet van 0,1 maar f 90,90 opzij gelegd moet worden.

In tabel D4 worden voor verschillende disconteringsvoeten de verwachte kosten gegeven. Uit tabel D4 blijkt dat door een verlaging van de disconteringsvoet de verwachte kosten van beide varianten toenemen, waarbij de basisvariant duurder blijft. Bij een grotere disconteringsvoet wordt de manipulatievariant echter duurder dan de basisvariant. Bij de disconteringsvoet van 15 % zijn de doorlopende kosten zoveel goedkoper geworden dat de grotere stichtingskosten van de manipulatievariant het verschil in kosten gaan bepalen. Voor elke disconteringsvoet is het verschil tussen de basisvariant en de manipulatievariant niet significant. Dit wordt veroorzaakt doordat de onzekerheden in de totale kosten zowel absoluut als relatief voornamelijk worden bepaald door de onzekerheden in de doorlopende kosten. Dit betekent ook dat de uiteindelijke onzekerheid afhankelijk is van de gekozen disconteringsvoet.

Tabel D4. Effect van de disconteringsvoet op de verwachte kosten van de saneringsvarianten.

	verwachtingswaarde en standaarddeviatie bij een disconteringsvoet van 0,05 ¹ (Kf)	verwachtingswaarde en standaarddeviatie bij een disconteringsvoet van 0,01 (Kf)	verwachtingswaarde en standaarddeviatie bij een disconteringsvoet van 0,15 (Kf)
basisvariant	7453 ± 480	11439 ± 770	4089 ± 236
manipulatievariant	7382 ± 385	10798 ± 602	4500 ± 202

¹ default-waarde in RMK

Samenvattend kan worden gezegd dat voor de default-waarde van de disconteringsvoet de kosten voor de manipulatievariant iets lager zijn dan voor de basisvariant. De onzekerheid in de kosten is voor de basisvariant groter dan voor de manipulatievariant; de varianten laten echter geen grotere verschillen zien in onzekerheid. Door de onzekerheden zijn de verwachte kosten van beide varianten niet significant verschillend. Dit laatste gaat ook op indien voor een afwijkende disconteringsvoet wordt gekozen.

D4 RMK-afweging

De Risicoreductie, Milieuverdienste en de Kosten van beide varianten zijn weergegeven in figuur D4. Voor zowel Risicoreductie, Milieuverdienste en Kosten komt de manipulatievariant als een goede keuze naar voren. Hierbij wordt opgemerkt dat de verschillen in risicoreductie en in kosten tussen beide varianten gering zijn. Voor de kosten zijn de verschillen zelfs niet significant. De manipulatievariant scoort vooral goed op milieuverdienste. Alhoewel er een absolute onzekerheid zit in de hoogte van de milieuverdienste kan worden aangenomen dat het verschil tussen beide varianten significant is. De manipulatievariant is een goede keuze in het saneringsplan.

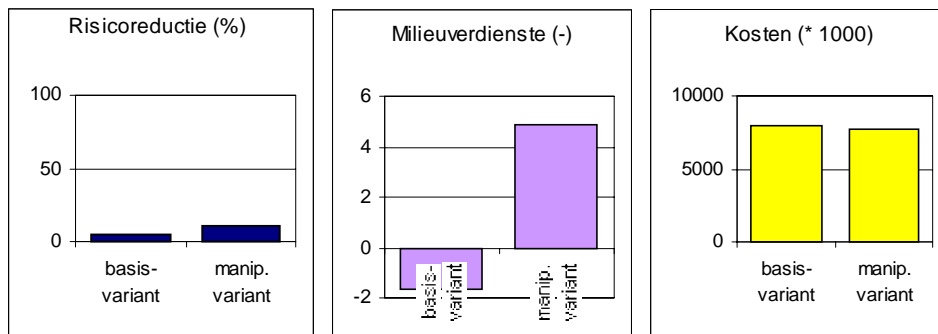


Fig. D4. Risicoreductie, Milieuverdiensite en gewaardeerde Kosten.

Uit de RMK-afweging kunnen de volgende aanbevelingspunten voor het verder ontwerpen van de saneringsvarianten worden gedestilleerd:

- Een verlaging van de te lozen vracht aan verontreiniging zal voor beide varianten een verbetering van de milieuverdiensite geven. Voor beide varianten geldt, voor de basisvariant meer dan voor de manipulatievariant, dat de oppervlaktewateremissies een belangrijke negatieve factor zijn in de bepaling van de milieuverdiensite. Dit komt deels door de aangenomen lage grenswaarde, maar ook bij een grotere grenswaarde zal de milieuverdiensite bij een verlaging van de vracht verbeteren.
- Aanvullende maatregelen zouden voor beide varianten een betere risicoreductie kunnen geven. De berekende risicoreductie is vrij laag, doordat beide varianten beheersvarianten zijn en niet direct het fretisch grondwater of de toplaag aanpakken. Omdat uit een voor de locatie uitgevoerde risicobeoordeling bleek dat er geen actuele humane risico's zijn ten gevolge van de bodemverontreiniging is het echter de vraag of aanvullende maatregelen noodzakelijk zijn.
- De onzekerheid in de uiteindelijke kosten van beide varianten kan worden verkleind door de onzekerheden in de doorlopende kosten te verkleinen.