

Geotechnisch Falen: Oorzaken en Beheersmaatregelen

Crosscase analyse van oorzaken van geotechnisch gefaalde internationale casestudies



Colofon



Universiteit Twente

Faculteit Construerende Technische Wetenschappen
Master Construction Management & Engineering

Bezoekadres: Drienerlolaan 5
7522 NB Enschede
Postadres: Postbus 217
7500 AE Enschede
Website: <http://www.utwente.nl/cme/>

Eerste begeleider: Prof. dr. ir. J. (Joop) I.M. Halman
Tweede begeleider: Dr. S. (Saad) H.S. Al-Jibouri

UNIVERSITEIT TWENTE.

Professor in Innovation Processes
Associated Professor

Rijkswaterstaat

Initiator Geo-Impuls

Bezoekadres: Griffioenlaan 2
3526 LA Utrecht
Postadres: Postbus 20000
3502 LA Utrecht
Website: <http://www.rijkswaterstaat.nl/>

Dagelijkse begeleiders: Dr. ir. M. (Martin) Th. van Staveren MBA
P. (Paul) Litjens
P. (Paul) Cools



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Risk Management Consultant
Director VSRM (www.vsrn.nl)
Secretaris Kernteam Geo-Impuls
Senior Geotechnical Advisor RWS
Secretaris Stuurgroep Geo-Impuls
Manager Geo Engineering RWS

Auteur

M. (Martijn) A. Oude Vrielink
Roomweg 191
7523 BM Enschede
m.a.oudevrielink@student.utwente.nl

Woord vooraf

Voor u ligt het onderzoeksrapport *‘Geotechnisch Falen: Oorzaken en Beheersmaatregelen’*. Dit onderzoek toetst de doelmatigheid en doeltreffendheid van het Geo-Impuls programma en is uitgevoerd in opdracht van Geo-Impuls. Vanaf januari 2011 is er gewerkt aan de uitvoering en rapportage van dit onderzoek. Dit in het kader van mijn Master Thesis voor de opleiding Construction Management and Engineering (CME) aan de faculteit Construerende Technische Wetenschappen (CTW) aan de Universiteit Twente (UT). Deze opleiding wordt tevens ondersteund door de Technische Universiteit Delft (TUD) en de Technische Universiteit Eindhoven (TU/e).

Met dit rapport heb ik getracht Geo-Impuls een objectief beeld te geven van de haalbaarheid van hun doelstelling: halvering van geotechnisch falen in 2015. Vooral voor de Stuurgroep en het Kernteam van Geo-Impuls kunnen de resultaten dienen als een waardevolle ‘second opinion’ op hun bezigheden. De doelgroep beperkt zich echter niet tot deze twee groepen. Ook voor andere professionals binnen de geotechniek en projectmanagement, zowel binnen als buiten Geo-Impuls, geeft dit document een interessant overzicht van hoe Geo-Impuls is ontstaan, waar het voor staat en hoe de organisatie in zijn werk gaat.

Het uitvoeren van een dergelijk onderzoek zag ik dan ook als uitgelezen kans om mijn opgedane kennis toe te passen en verder uit te breiden. Nadat ik verschillende vakken op het gebied van o.a. risicomanagement, geotechniek en procesbeheersing gevolgd heb, heb ik voor mijn Bachelor Thesis eerder al onderzoek gedaan naar het ontstaan en identificeren van faalkosten in de Nederlandse bouw. Toen de UT dus eind 2010 met de mogelijkheid voor dit onderzoek kwam heb ik deze nieuwe uitdaging dan ook met beide handen aangegrepen. Het lag precies in lijn met mijn interesses en was erg uitdagend, aangezien het ‘meetbaar maken’ van faalkosten door velen nog steeds als onmogelijk gezien wordt. Zoals sommigen zullen weten ga ik dit soort uitdagingen echter nooit uit de weg.

Ik ben Joop Halman en Saad Al-jibouri dan ook bijzonder dankbaar dat zij mij deze mogelijkheid hebben gegeven en mij de benodigde ondersteuning hebben gegeven vanuit de Universiteit Twente. Beide heren zijn zowel kritisch als verhelderend geweest op de momenten dat dit nodig was. Vanuit het bedrijfsleven heeft Martin van Staveren deze rol vervuld. Als directeur van Van Staveren Risk Management (VSRM) en adviseur van Geo-Impuls is zijn positiviteit en vernieuwende inbreng ook van grote waarde geweest voor het eindresultaat van dit onderzoek. Voor het dagelijkse contact op de werkvloer in Utrecht gaat mijn dank vooral uit naar Paul Litjens en Paul Cools. Indien er iets niet duidelijk was waren zij als ‘trekkers’ van Geo-Impuls altijd interessante gesprekspartners. Als ‘sparring partner’ wil ik mijn collega UT-student Adam Ronhaar nog bedanken. Zonder onze interessante discussies had het resultaat er misschien wel heel anders uit gezien. Dit beperkt zich uiteraard niet tot de discussies gerelateerd aan onze onderzoeken.

Tot slot wil ik mijn collega’s van Rijkswaterstaat DI, huisgenoten, familie en vrienden nog bedanken voor de gezelligheid en steun die ze me hebben gegeven gedurende het onderzoek. Jullie inbreng gaf het onderzoek kleur, ongeacht de fase waarin het verkeerde. Hierdoor kon ik mijn studie succesvol en vol vertrouwen afronden.

Martijn Oude Vrielink

Enschede, September 2011

Samenvatting

Doel van dit onderzoek was om de belangrijkste oorzaken en beheersmaatregelen van geotechnisch falen in de Nederlandse gww-sector in beeld te brengen. De centrale onderzoeksvraag die hierbij gesteld werd, was in welke mate het door Geo-Impuls ontworpen *Geo-Impuls programma* daadwerkelijk aansluit op deze oorzaken en beheersmaatregelen van geotechnisch falen. Dit aangezien de Geo-Impuls organisatie graag zou willen weten waar ze staan in het bereiken van hun doelstelling: halveren van geotechnisch falen in 2015.

Bij wijze van vooronderzoek zijn allereerst de kenmerken van geotechnisch falen verduidelijkt. De begrippen *kwaliteit, falen (en faalkosten), geotechnisch falen, risico* en *geotechnisch risico* zijn uitgelicht en op elkaar afgestemd. Op deze manier was het mogelijk de begrippen meer meetbaar en praktijkgericht te maken voor Geo-Impuls. Deze begrippen zijn het uitgangspunt geweest voor de vorming van een onderzoekscyclus (zie figuur I). Deze cyclus geeft in één oogopslag de gefaseerde structuur, werkwijze en resultaten van dit onderzoek weer. In de toekomst is de cyclus opnieuw te doorlopen (iteratie) met de in dit onderzoek gevonden resultaten.

Hiervoor is met behulp van de begrippen in de zoek- en selectiefase van de onderzoekscyclus een groot aantal geschikte case artikelen onderzocht op genoemde oorzaken, gevolgen en beheersmaatregelen. Om de resultaten van dit onderzoek zo inzichtelijk en reproduceerbaar mogelijk te maken zijn zoek- en selectiestructuren ontwikkeld. Op basis van de rubriceringmethode van de CUR (2010) is per case een zo volledig mogelijk beeld van alle beschreven geotechnische incidenten verkregen.

Mede op basis van de *Cobouw Incidenten Analyse 2010* (Van Staveren, 2010) is vervolgens in de identificatie- en categorisatie fase een dataselectie model ontwikkeld waarmee de benodigde informatie voor dit onderzoek is geëxtraheerd. Alle 288 uit deze case artikelen geïdentificeerde oorzaken van geotechnisch falen zijn daarna ingedeeld op micro-, meso- en macroniveau.

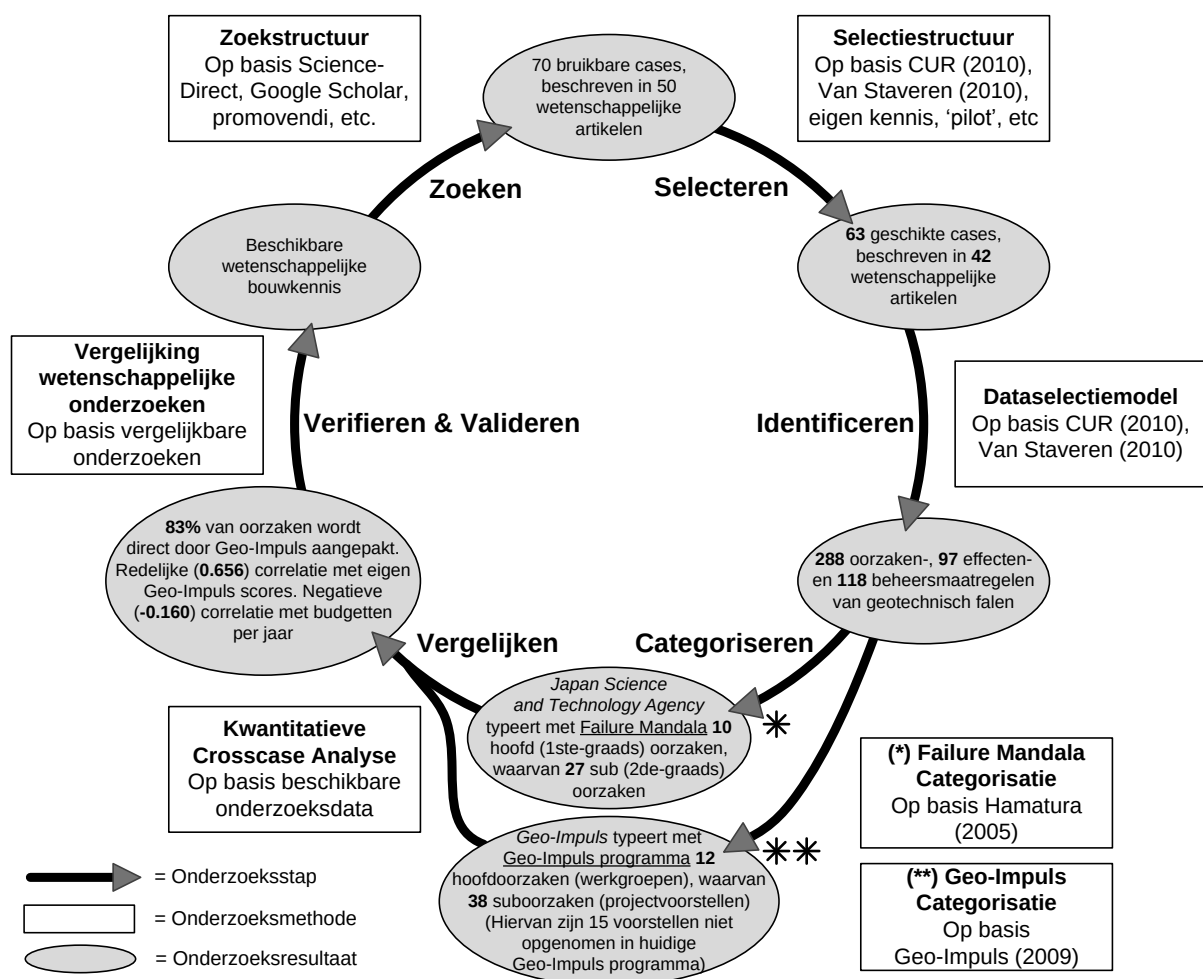
Om de grote diversiteit van deze oorzaken meer handelbaar en vergelijkbaar met het Geo-Impuls programma te maken is ervoor gekozen ze te categoriseren volgens het wetenschappelijke Failure Cause Mandala model, ontwikkeld door het Japan Science and Technologie Agency voor structurering van hun eigen *Failure Knowledge Database* (Hatamura, 2005). Te lage en onvolledige aantallen uit de case artikelen geïdentificeerde gevolgen en beheersmaatregelen maakte dat het onderzoek alleen verder is gegaan met de *aantallen* geïdentificeerde oorzaken van geotechnisch falen. Betrouwbare kwalitatieve koppeling met de *impact* (schadelijke gevolgen als gevolg van de geotechnische incidenten) bleek niet mogelijk

Om een kwantitatieve en volledige vergelijking te maken met het Geo-Impuls programma zijn dezelfde 288 oorzaken vervolgens in de categorisatie-, vergelijkings- en verificatie & validatie fase nogmaals gecategoriseerd. Dit maal onder alle 38 in eerste instantie door Geo-Impuls ontwikkelde projectvoorstellen. De beschrijvingen van het probleem oplossend vermogen van ieder projectvoorstel zijn hiervoor als leidraad gebruikt. Aangezien het huidige Geo-Impuls programma maar 24 van deze projectvoorstellen heeft opgenomen in haar 12 werkgroepen, was het mogelijk kwantitatief te analyseren of er belangrijke projectvoorstellen werden gemist.

Vergelijking van deze Geo-Impuls categorisatie met de Failure Mandala categorisatie liet hierop zien dat projectvoorstel II-13 (*Showcase Probabilistisch Plannen*) kwantitatief gezien mogelijk een gemis is in het huidige Geo-Impuls programma. Het rendement van de verschillende werkgroepen en projectvoorstellen is echter onduidelijk, aangezien het onduidelijk is of de doelstelling van Geo-Impuls zich richt op halvering van de *aantallen* of de *impact* van geotechnische incidenten. Deze doelstelling dient eerst verduidelijkt te worden door Geo-Impuls, voordat vervolgonderzoek uitgevoerd kan worden en volledige conclusies getrokken kunnen worden.

Kijkt men puur naar de halvering van het *aantal* geotechnische incidenten, zoals in dit onderzoek is gebeurd, dan dient de relevantie van werkgroep 4 (*Kwaliteitscontrole in de grond gevormde elementen*) en 11 (*Internationale samenwerking*) ten aanzien van het behalen van de Geo-Impuls doelstelling nog eens te worden herbeschouwd. Met het huidige programma zou kwantitatief gezien 83% van de 288 geïdentificeerde oorzaken direct aangepakt kunnen worden. Hiermee is het programma redelijk efficiënt (doelmatig). Wat de kwantitatieve effectiviteit (doeltreffendheid) betreft dienen de werkgroepbudgetten nog eens goed bekeken te worden. De financiële correlatie met de percentuele werkgroepscores is namelijk licht negatief.

De haalbaarheid van de doelstelling '*halvering van geotechnisch falen in 2015*' bleek als gevolg van de onduidelijkheid niet direct meetbaar met de beschikbare gegevens. Wel waren meerdere onafhankelijke onderzoeken in lijn met de resultaten van dit onderzoek en acht dit onderzoek bewezen dat risicomangement, waarop het Geo-Impuls programma grotendeels is gebaseerd, een significante rol speelt bij het beheersen van geotechnisch falen. Indien Geo-Impuls zijn doelstelling verduidelijkt en op basis hiervan nog eens goed kijkt naar het rendement en de financiële correlatie van de werkgroepen, zijn ze in ieder geval al een heel eind op weg hun doelstelling te behalen.



Figuur I: Onderzoekscyclus

Summary

The aim of this study was to identify the main causes and control measures of geotechnical failure in the Dutch earthworks-, road- and hydraulic construction (gww) sector into view. The central research question was to what extent the Geo-Impuls program meets these causes and control measures of geotechnical failure. This is the Geo-Impuls organization would like to know where they stand in achieving their goal: halving geotechnical failure in 2015.

Preliminary research clarified the characteristics of geotechnical failure. The concepts of *quality*, *failure* (and *failure costs*), *geotechnical failure*, *risk* and *geotechnical risk* are highlighted and aligned. This made it possible to make these concepts more measurable and practical for Geo-Impuls. These concepts have been the starting point for the formation of a research cycle (see figure I). This cycle shows at a glance the phased structure, method and results of this research. In the future, the cycle can be rerun (iteration) with the results of the first research cycle (the results found in this research).

With the concepts, the search- and selection phase of the cycle found a large number of case articles, which have been analysed on mentioned causes, effects and control measures of geotechnical failures. Search- and selection structures have been developed to make the results of this investigation as clear and reproducible as possible. Based on the classification method of the CUR (2010), a full picture of all the described geotechnical incidents was obtained.

Based on the *Cobouw Incidenten Analyse 2010* (Van Staveren, 2010), during the identification- and categorization phase, a data selection model has been developed to extract the information for this research. All 288 identified causes of geotechnical failure, described in the case articles, have been grouped in micro-, meso-, and macro levels.

The diversity of these causes have been made more manageable and similar to the Geo-Impuls program by categorizing the causes according to the scientific 'Failure Cause Mandala' model, developed by the Japan Science and Technology Agency for structuring their own Failure Knowledge Database (Hatamura, 2005). Too low and distorted numbers of consequences and control measures, identified in the case articles, made it clear that the study has only went further with the *numbers* causes of geotechnical failure. A reliable qualitative link with the *impact* (adverse effects resulting from the geotechnical incidents) was not possible.

For a quantitative and complete comparison with the Geo-Impuls program, the 288 identified causes have also been categorized among the 38 initially by Geo-Impuls developed project proposals in the categorization-, comparison- and verification & validation phase. The descriptions of the problem solving capacity of each proposal have been used as a guideline for this categorization. Given the current Geo-Impuls program included only 24 of these project proposals in their 12 workgroups, it was possible to quantitatively analyze if significant proposals were missed.

Comparison of the Geo-Impuls categorization with the Failure Mandala categorization showed that, quantitatively, project proposal II-13 (*Showcase Probabilistisch Plannen*) was possibly deficient in the current Geo-Impuls program. The efficiency of the different workgroups and project proposals is however unclear, since it is not clear if the Geo-Impuls goal focuses on halving the *numbers* or *impact* of geotechnical incidents. This goal needs to be clarified by Geo-Impuls, before follow-up studies can be carried out and definite conclusions can be drawn.

If one looks pure quantitatively at halving the *number* of geotechnical incidents (as has been done in this research), the relevance of workgroup 4 (*Kwaliteitscontrole in de grond gevormde elementen*) and 11 (*Internationale Samenwerking*) towards achieving the Geo-Impuls goal should be reconsidered.

With the current program, quantitatively 83% of the 288 identified causes can be tackled. This program is therefore reasonably effective. Some efficacy is concerned. Also, quantitatively, the workgroup budgets should be reconsidered, since the financial correlation between the budgets and percentage workgroup scores is slightly negative.

The feasibility of the goal of "halving geotechnical failure in 2015" was, due to the unclear focus, not directly measurable with the available data. However, there were several independent investigations in line with the results of this study. Also, this study demonstrated that risk management, which the Geo-Impuls program is largely based on, plays a significant role in the control of geotechnical failures. If Geo-Impuls clarifies their goal and, based on this goal, takes a good look at the efficiency and the financial correlation of their workgroups again, than they would have already come a long way toward their objective.

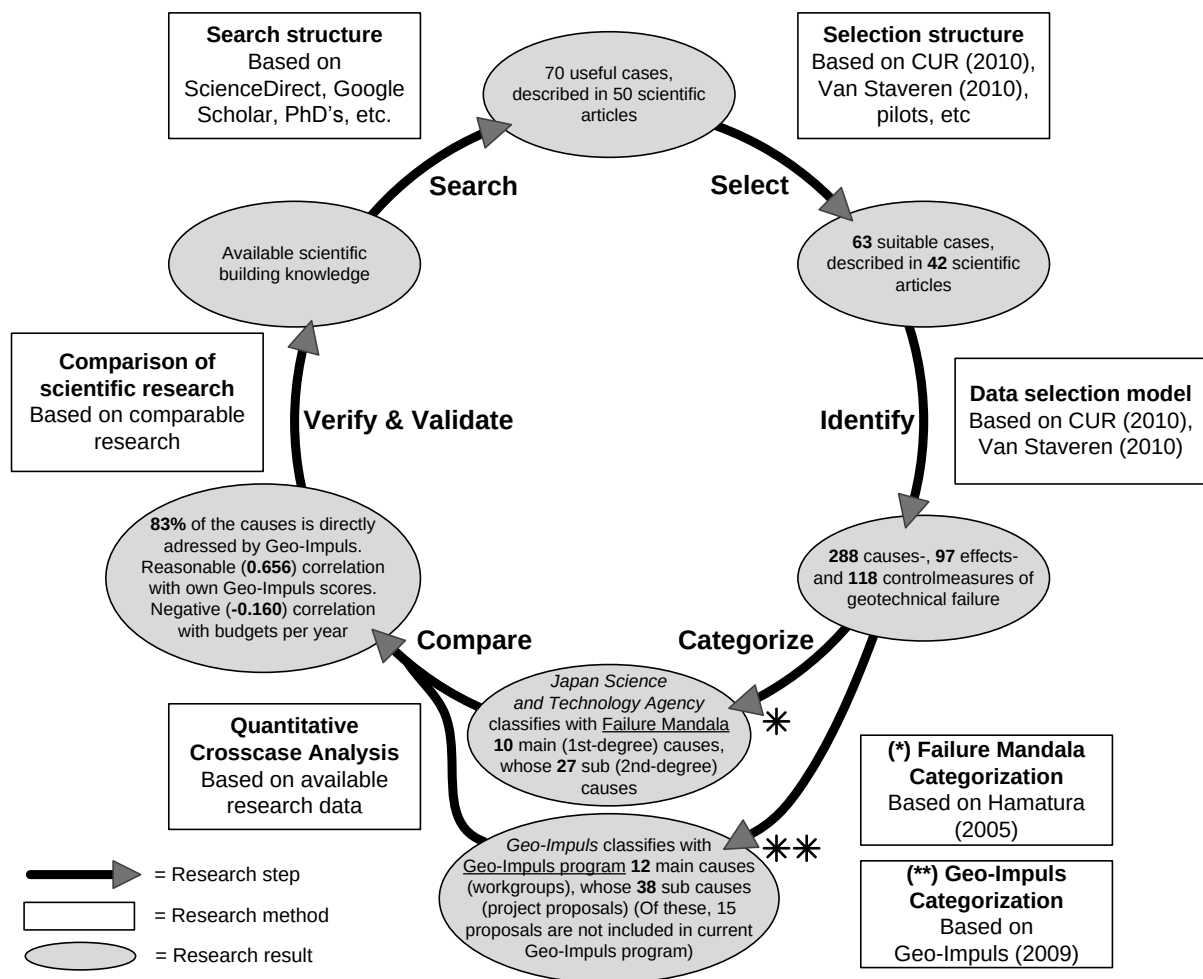


Figure I: Research cycle

Inhoudsopgave

Woord vooraf	I
Samenvatting.....	II
Summary.....	IV
Inhoudsopgave.....	VI
1 Inleiding	1
1.1 Verkenning projectkader.....	1
1.2 Geo-Impuls programma	2
1.3 Geo-Impuls organisatiestructuur.....	3
1.4 Nulmeting en Voortgangsmeting.....	4
2 Onderzoeksontwerp.....	5
2.1 Interviews Geo-Impuls programma	5
2.2 Onderzoekskader.....	6
2.3 Onderzoeksmodel.....	7
2.4 Vraagstelling.....	8
2.5 Onderzoeksmethode	9
3 Onderzoeksoptiek	10
3.1 Kwaliteit van bouwen	10
3.2 Falen in de bouw	13
3.3 Geotechnisch falen in de bouw	16
3.4 Geotechnische risico's bij bouwprojecten	20
3.5 Geotechnische falen bij Nederlandse bouwprojecten.....	22
4 Onderzoekstechnisch ontwerp	24
4.1 Wetenschappelijke criteria	24
4.2 Gebruikte zoekstructuur	24
4.3 Gebruikte selectiestructuur	27
4.4 Verificatie & Validatie	29
5 Onderzoeksresultaten	32
5.1 Oorzaken van geotechnisch falen.....	32
5.2 Gevolgen van geotechnisch falen	37
5.3 Beheersmaatregelen van geotechnisch falen	38
6 Crosscase analyse Geo-Impuls programma.....	42
6.1 Totstandkoming Geo-Impuls programma	42
6.2 Crosscase analyse Geo-Impuls programma.....	43
6.3 Haalbaarheid Geo-Impuls doelstelling.....	48

7	Conclusies	53
7.1	Geo-Impuls conclusies	53
7.2	Wetenschappelijke conclusies.....	54
8	Discussie & Aanbevelingen.....	55
8.1	Geo-Impuls.....	55
8.2	Wetenschap	56
	Literatuur.....	57
	Bijlagen.....	61

Bijlagen

Bijlage 1: Onderzoeksmodel	62
Bijlage 2: Samenvatting kennismakingsgesprekken Stuurgroep	63
Bijlage 3: Definiëring rubrieken.....	64
Bijlage 4: Geschikte wetenschappelijke case artikelen.....	65
Bijlage 5: Dataselectie model	67
Bijlage 6: Algemene case gegevens	68
Bijlage 7: Geïdentificeerde oorzaken geotechnisch falen	70
Bijlage 8: Geïdentificeerde gevolgen geotechnisch falen	75
Bijlage 9: Geïdentificeerde beheersmaatregelen geotechnisch falen	77
Bijlage 10: Totstandkoming Failure Mandala.....	80
Bijlage 11: Toelichting Failure Mandala.....	86
Bijlage 12: Toelichting Geo-Impuls programma	98
Bijlage 13: Failure (Cause) Mandala categorisatie oorzaken geotechnisch falen.....	106
Bijlage 14: Geo-Impuls categorisatie oorzaken geotechnisch falen	110
Bijlage 15: Kwantitatief overzicht Failure Mandala categorisatie	113
Bijlage 16: Kwantitatief overzicht Geo-Impuls categorisatie	114
Bijlage 17: Kwantitatieve visuele weergave Failure Mandala categorisatie	115
Bijlage 18: Kwantitatieve visuele weergave Geo-Impuls categorisatie.....	116
Bijlage 19: Crosscase analyse 1 ^{ste} -graads oorzaken JST / Geo-Impuls	117
Bijlage 20: Crosscase analyse 2de-graads oorzaken JST / Geo-Impuls	118
Bijlage 21: Totstandkoming Geo-Impuls programma	119
Bijlage 22: Probleemanalyse Geo-Impuls	120
Bijlage 23: Gevormde Geo-Impuls projectvoorstellen.....	123
Bijlage 24: Gevormde Geo-Impuls werkgroepen & Begroting	124
Bijlage 25: Veelgebruikte definities in literatuur	126
Bijlage 26: Risico's bij bouwprojecten	128
Bijlage 27: Begripsbepalingen	131

Lijst met tabellen

Tabel 3.1: Top 3 oorzaken projectfalen	16
Tabel 4.1: Zoektermen voor selectie cases	26
Tabel 5.1: Aantallen oorzaken op micro-, meso- en macroniveau	34
Tabel 5.2: Aantallen oorzaken per niveau volgens Failure Mandala categorisatie	34
Tabel 5.3: Belangrijkste 1 ^{ste} - & 2 ^{de} -graads oorzaakcategorieën geotechnisch falen	36
Tabel 5.4: Classificatie gevolgen geotechnisch falen.....	37
Tabel 6.1: Aantallen hoofd- & subcategorieën	43
Tabel 6.2: Belangrijkste werkgroepen & projectvoorstellen geotechnisch falen	44
Tabel 6.3: Meest relevante werkgroepen bij Failure Mandala categorisatie.....	44
Tabel 6.4: Aantallen oorzaken die direct opgelost worden door overige projectvoorstellen.....	48
Tabel 6.5: Oorzaken van geotechnisch fale	49
Tabel 6.6: Menselijke factoren in geotechnisch falen	49
Tabel 6.7: Correlatie werkgroepscores en investeringen	51
Tabel 6.8: Investerings gecorrigeerd naar correlaties	51

Lijst met figuren

Figuur 1.1: Organogram Geo-Impuls	3
Figuur 1.2: Verschillende Geo-Impuls onderzoekssporen	4
Figuur 2.1: Onderzoeksmodel	7
Figuur 2.2: Onderzoekscyclus	9
Figuur 3.1: Model voor onderzoeksoptiek	10
Figuur 3.2: Definiëring kwaliteit	12
Figuur 3.3: Kosten voor kwaliteit	13
Figuur 3.4: Bereiken van kwaliteit	13
Figuur 3.5: Grijs gebied van falen	15
Figuur 3.6: Interactie van diverse niveaus	18
Figuur 3.7: High Reliability Organizations	20
Figuur 3.8: Incomplete kennis	21
Figuur 4.1: Deltagebieden in Nederland	25
Figuur 4.2: Zoek- & Selectieproces in de praktijk	27
Figuur 4.3: Selectiestructuur bruikbare case artikelen	27
Figuur 5.1: Risicoketen onder invloed van randvoorwaarden	32
Figuur 5.2: Risicoketen onder invloed van randvoorwaarden in de praktijk	32
Figuur 5.3: Codering oorzaken geotechnisch falen	33
Figuur 5.4: Failure Tree	35
Figuur 5.5: Oorzaak-Actie-Gevolg-diagram bij falen	35
Figuur 5.6: Failure Cause Mandala	35
Figuur 5.7: Mate van structuraliteit van beheersmaatregelen	39
Figuur 6.1: Tijdsbeeld totstandkoming Geo-Impuls	42
Figuur 6.2: Voorbeeld kwantitatieve crosscase analyse	43
Figuur 6.3: Aandachtspunten werkgroep 1	45
Figuur 6.4: Aandachtspunten werkgroep 2	45
Figuur 6.5: Aandachtspunten werkgroep 3	45
Figuur 6.6: Aandachtspunten werkgroep 4	46
Figuur 6.7: Aandachtspunten werkgroep 5	46
Figuur 6.8: Aandachtspunten werkgroep 6	46
Figuur 6.9: Aandachtspunten werkgroep 7	46
Figuur 6.10: Aandachtspunten werkgroep 8	46
Figuur 6.11: Aandachtspunten werkgroep 9	47
Figuur 6.12: Aandachtspunten werkgroep 10	47
Figuur 6.13: Aandachtspunten werkgroep 11	47
Figuur 6.14: Aandachtspunten werkgroep 12	47
Figuur 6.15: Aandachtspunten overige projectvoorstellen	47
Figuur 8.1: Theoretische impact beheersmaatregelen	56

1 Inleiding

1.1 Verkenning projectkader

De laatste jaren is de faalkostenproblematiek in de bouw steeds duidelijker geworden. De sector zou te traditioneel georganiseerd zijn, te weinig innoveren en zich schuldig maken aan verboden prijsafspraken. Een parlementaire enquête maakte dit laatste punt nog maar eens pijnlijk duidelijk voor de Nederlandse bouwsector in 2001. Hierdoor is het imago van de Nederlandse bouw er sindsdien niet op vooruit gegaan. Het aantal onderzoeken naar faalkosten in Nederland is eveneens gegroeid en laten zelfs een stijgende trend zien. Werden de faalkosten in 2001 nog geschat op 7.7% van de omzet, in 2005 was dit al 10,3% en in 2008 zelfs 11.4% (USP Marketing Consultancy, 2008).

De oorzaken van het probleem zijn echter divers en bevinden zich in alle lagen van organisaties binnen de bouwsector. Onderzoeken zijn dan ook niet altijd even eenduidig in het aanwijzen van de belangrijkste oorzaken van faalkosten. Recente onderzoeken wijzen echter steeds vaker grondgerelateerde problemen aan als belangrijkste bron van faalkosten (Avendaño Castillo, 2011). Er wordt zelfs geschat dat 50-85% van de faalkosten een directe of indirecte oorzaak heeft in de ondergrond (Van Staveren & Pereboom, 2006).

Deze conclusies zijn aanleiding geweest om in 2009 een sectorbreed samenwerkingsverband te starten, om zo concreet iets te kunnen doen tegen deze problematiek. Er is een gericht programma opgesteld binnen de gww-sector: Geo-Impuls. Aangezien projecten binnen de gww-sector in grote mate afhankelijk zijn van de ondergrond, hoopt Geo-Impuls binnen deze sector het hoogste rendement te behalen. De doelstelling van de organisatie is namelijk even duidelijk als ambitieus: *'In 2015 moet het geotechnisch falen in de Nederlandse gww-projecten met minimaal de helft zijn teruggebracht'*.

Geotechnische faalincidenten kunnen hierbij getypeerd worden als faalincidenten met een geotechnische oorzaak. Waar de termen *'faalkosten'* en *'projectfalen'* dus refereren aan alle mogelijke oorzaken van falen binnen bouwprojecten, beperkt de term *'geotechnisch falen'* zich dus tot het optreden van een gebeurtenis met negatieve effecten voor één of meerdere stakeholders, met één of meerdere oorzaken die te maken hebben met bouwen in grond, op grond of met grond.

De activiteiten van twaalf verschillende Geo-Impuls werkgroepen moeten gezamenlijk bijdragen aan het realiseren van de Geo-Impuls doelstelling. Deze werkgroepen zijn vanuit de praktijk tot stand gekomen. De onderwerpen die deze werkgroepen behandelen sluiten mogelijk niet (volledig) aan bij de belangrijkste oorzaken van geotechnisch falen. De prioritering van de projectvoorstellen is immers bepaald door de percepties van de betrokken professionals uit de beroepspraktijk en is niet wetenschappelijk onderbouwd.

Dit onderzoek moet het Geo-Impuls programma daarom wetenschappelijke draagkracht geven en hiermee haar doelgerichtheid toetsen. Afhankelijk van de conclusies vanuit deze onafhankelijke toets zou het namelijk zichtbaar kunnen worden dat belangrijke onderwerpen nog gemist worden in het programma, of dat bepaalde onderwerpen nauwelijks of niet bijdragen aan het behalen van de Geo-Impuls doelstelling. Om het geotechnisch falen daadwerkelijk met de helft terug te brengen in 2015 is hierover snel duidelijkheid nodig. Geo-Impuls zal hiervoor al het mogelijke onderzoek in het werk willen stellen, om zo het imago van de bouw een positieve impuls te kunnen geven.

1.2 Geo-Impuls programma

Om Geo-Impuls als programma uitvoerbaar te maken, zijn op strategisch (S), tactisch (T) en operationeel (O) niveau projecten gedefinieerd.

1.2.1 Thema's

Het programma is gebaseerd op vijf centrale thema's:

- geo-engineering in contracten;
- toepassen en delen van bestaande kennis & ervaring;
- kwaliteit van ontwerp- en uitvoeringsprocessen;
- nieuwe kennis voor geo-engineering in 2015;
- managen van verwachtingen.

1.2.2 Werkgroepen

Aan de hand van deze thema's is een samenhangend programma samengesteld, bestaande uit 12 concrete voorstellen uitgevoerd door 12 werkgroepen om het ambitieuze doel te bereiken:

- Geotechnische risicoverdeling in projecten; toepassing van de RV-G(Risicoverdeling Geotechniek) systematiek om geotechnische risico's te inventariseren en alloceren (T).
- Grondonderzoek in de tenderfase; opmars naar een breed gedragen aanbeveling voor grondonderzoek bij specifieke oplossingsrichtingen in de bouw (O).
- Kwaliteitscontrole van in de grond gevormde elementen; tekortkomingen aan in de grond gevormde elementen eerder kunnen opsporen (O).
- Proceseisen geotechniek in contracten; over afgewogen eisen, het zichtbaar maken van geotechnische risico's en contractbeheersing in de bouw (T).
- De ondergrond naar de voorgrond in projecten; toepassing van systematiek om vroegtijdig inzicht te krijgen in de geotechnische risico's bij projecten (S/T).
- Kwaliteit in ontwerp en uitvoering; de veelal gescheiden werelden ontwerp en uitvoering komen nader tot elkaar bij dit onderwerp (O).
- Betrouwbaar ondergrond model; een beter beeld van de ondergrond door verbeterde meet- en interpretatietechnieken (O).
- Communicatie voor, door en rondom het programma, ter verbetering van het imago en de positionering van de sector (S).
- Opleiding; invulling van onderwijs aan en opleiding van goed geschoolde (toekomstige) technici in de geo-engineering (S).
- Metingen en modelverbetering; een beter begrip van geotechnische aspecten door koppeling van realtime metingen met voorspellingsmodellen (T/O).
- Observational Method; robuuste en betaalbare projecten door sturing op basis van metingen en risico gestuurde scenario's (T/O).
- Internationale samenwerking; uitwisselen van kennis met andere landen met de Geo-Impuls als focus (S/T).

Bij het definiëren van deze projecten zijn doelgerichtheid en efficiëntie, minimale organisatiekosten en betrokkenheid van de hele bouwsector telkens het uitgangspunt. De resultaten van deze projecten dragen uiteindelijk bij aan het realiseren van de doelstelling.

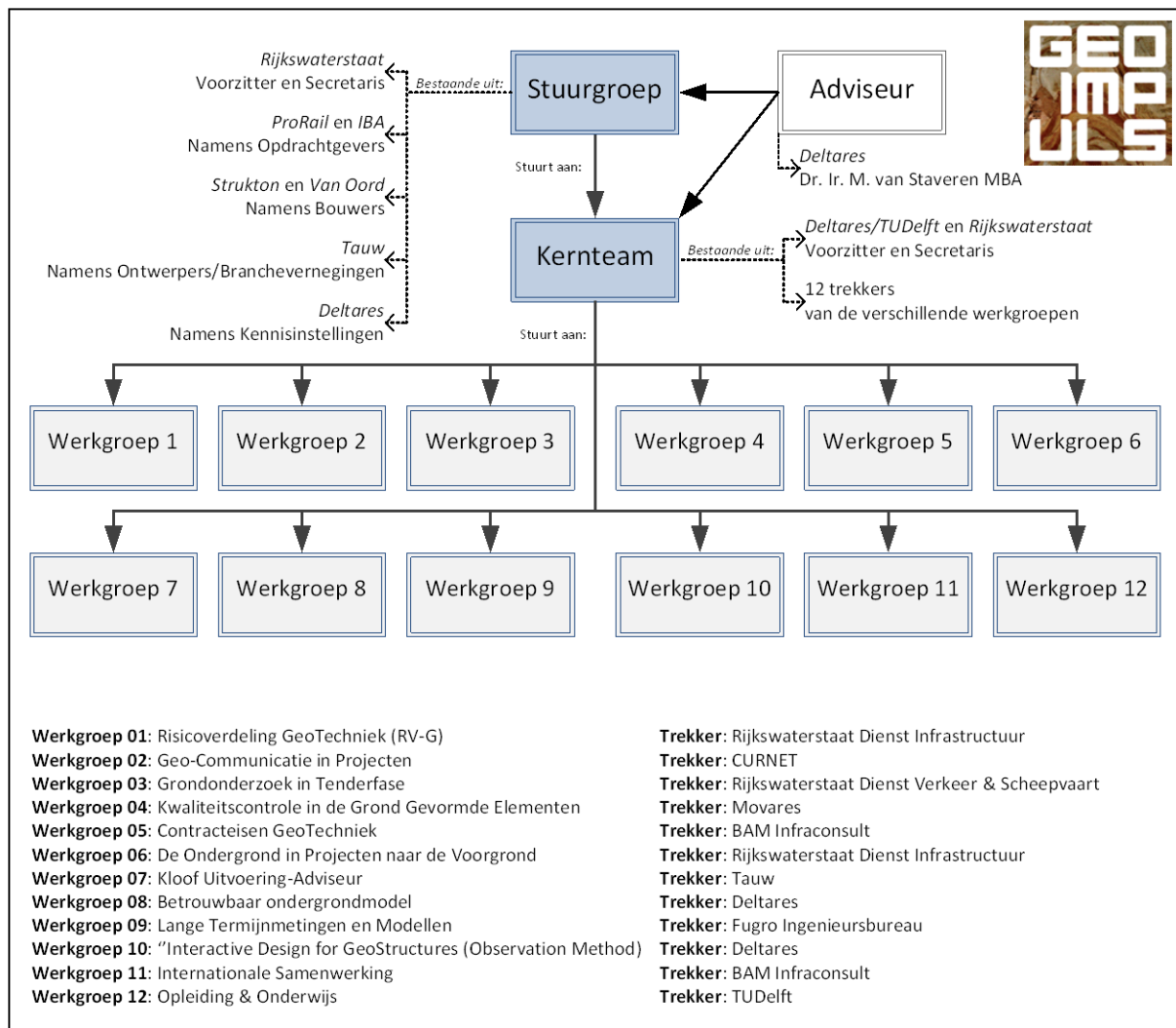
1.2.3 Deelnemers

Vanuit de sector werken opdrachtgevers, ontwerpers, bouwers en kennisinstellingen de komende jaren samen aan dit meerjarige programma. De deelnemers zijn:

- **Opdrachtgevers:** Rijkswaterstaat, grote gemeenten als Den Haag, Rotterdam, Utrecht en Amsterdam, ProRail;
- **Bouwers:** Strukton, BAM, Boskalis, Heijmans, KWS, Van Hattum & Blankevoort, Van Oord, Ballast Nedam;
- **Ontwerpers:** Arcadis, Witteveen+Bos, DHV, Tauw, Movares, Fugro, Grontmij, Royal Haskoning, CRUX;
- **Kennisinstellingen:** CURNET (COB, CUR B&I), Deltares, TUDelft, CROW;
- **Brancheverenigingen:** KIVI/Niria, Vereniging van Waterbouwers, Bouwend Nederland.

1.3 Geo-Impuls organisatiestructuur

Met zoveel actoren is het belangrijk een duidelijk overzicht te schetsen van de organisatiestructuur (figuur 1.1). De organisatie van Geo-Impuls bestaat uit een stuurgroep en een kernteam, met een externe adviserende partij:



Figuur 1.1: Organogram Geo-Impuls (situatie: 1 januari 2011)

- In de *stuurgroep* worden de belangen van de verschillende organisaties (opdrachtgevers, bouwers, ontwerpers, kennisinstellingen) door één afgevaardigde behartigd. Deze stuurgroep wordt gecompleteerd door een voorzitter en secretaris. Deze groep telt totaal zeven leden en komt drie/vier keer per jaar bijeen. De groep opereert voornamelijk op directieniveau en is tegelijkertijd ook het management van het programma.
- Het *kernteam* bestaat uit twaalf verschillende voorzitters van de twaalf werkgroepen. De betrokken deelnemers hebben op basis van motivatie zich aangemeld in deze werkgroepen. Ook het kernteam wordt gecompleteerd door een voorzitter en secretaris. Deze groep komt eens per zes weken bijeen. Deze groep is vooral inhoudelijk bezig met het programma en haar voorstellen.
- *Adviseur*: Van Staveren Risk Management en Deltares (specialistisch adviseur en onafhankelijk kennisinstituut).

Voor een optimale begeleiding en draagvlak voor dit onderzoek zijn uiteindelijk drie begeleiders betrokken vanuit het Geo-Impuls programma vanuit alle drie disciplines;

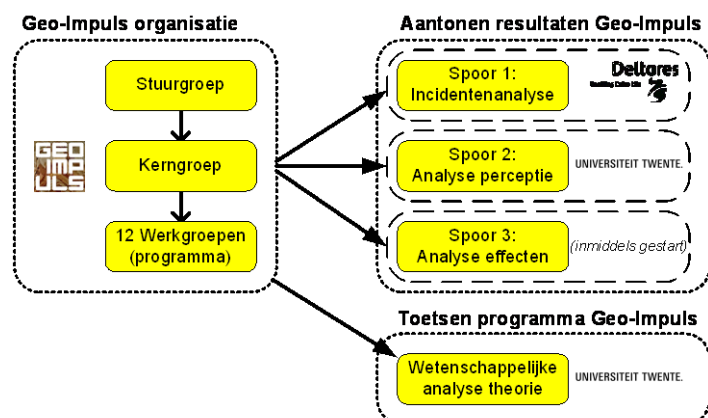
- Adviesbureau Deltares;
- Secretaris van de Stuurgroep;
- Secretaris van de Kerngroep.

1.4 Nulmeting en Voortgangsmeting

Zoals hiervoor is beschreven heeft Geo-Impuls als doelstelling een halvering van het geotechnisch falen in de bouwsector in 2015. Om deze doelstelling aantoonbaar te maken dienen nulmetingen en voortgangsmetingen te worden uitgevoerd, in de vorm van drie onderzoekssporen (zie figuur 1.2):

- **Spoor 1:** *Feitelijke* analyse van geotechnische incidenten (ook wel incidentenonderzoek genoemd) zoals gepubliceerd in Cobouw gedurende de jaren 2010 t/m 2015.
- **Spoor 2:** Analyse van de *perceptie* (subjectieve analyse) van geotechnische incidenten door bouwtechnische professionals door middel van enquêtes in 2011, 2013 en 2015;
- **Spoor 3:** Toepassen van ontwikkelde Geo-Impuls kennis en (tussen)producten en het monitoren van de *effecten* daarvan op het al dan niet optreden van geotechnische incidenten in die projecten gedurende de periode 2011 – 2015;

Door het combineren van de resultaten die worden verkregen bij deze drie onderzoekssporen kan naar verwachting aannemelijk worden gemaakt in hoeverre de Geo-Impuls doelstelling in 2015 daadwerkelijk wordt bereikt. Van deze onderzoekssporen wordt spoor 1 uitgevoerd door Deltares. Afgesproken is dat het dossier van spoor 1 onderling uitwisselbaar is met de dossiers van spoor 2 & 3. De Universiteit Twente onderzoekt hierbij spoor 2 en mogelijk in de nabije toekomst spoor 3. Dit derde spoor is in 2011 opgestart via zogenoemde verdiepingssessies, waarbij de mate van toepassing van geotechnische risicosturing met behulp van (deel)producten vanuit Geo-Impuls in kaart wordt gebracht. In dit onderzoek wordt het Geo-Impuls programma geverifieerd en gevalideerd op het te verwachten rendement (halvering geotechnisch falen) via een theoretische toetsing.



Figuur 1.2: Verschillende Geo-Impuls onderzoekssporen

2 Onderzoeksontwerp

Het voorgaande hoofdstuk heeft zich vooral gericht op het verkennen van het projectkader en de projectorganisatie. Dit hoofdstuk, het onderzoeksontwerp, zal zich vooral richten op het onderzoek dat hierbinnen mogelijk is. Allereerst wordt hiervoor een samenvatting gegeven van de interviews van Geo-Impuls stuurgroepleden (paragraaf 2.1), waardoor de aanleiding voor dit onderzoek duidelijker wordt.

Vervolgens wordt het conceptuele gedeelte van het onderzoeksontwerp (Verschuren & Doorewaard, 2007) beschreven. Hierbij komen achtereenvolgens het onderzoekskader (paragraaf 2.2), het onderzoeksmodel (paragraaf 2.3), de vraagstelling (paragraaf 2.4), de onderzoeksmethode (paragraaf 2.2) en de begripsbepaling (paragraaf 2.6) aan bod.

2.1 Interviews Geo-Impuls programma

Interviews met een aantal stuurgroepleden hebben geleid tot een beter inzicht van de situatie binnen het Geo-Impuls programma. Een samenvatting van deze interviews is weergegeven in bijlage 2. De deelnemers waren allemaal leden van de stuurgroep van Geo-Impuls (zie figuur 1.1). De stuurgroep is het management van Geo-Impuls en opereert op directieniveau. Een korte samenvatting op basis van de hoofdvragen is gegeven om een beeld te schetsen over de diverse deelnemers:

- *Wat is de motivatie van de deelnemer om te participeren aan Geo-Impuls?*
Motivatie van de deelnemers lopen uiteen vanwege diverse redenen: financiën, imago, kennisontwikkeling. De opdrachtgevers zijn vooral gebaat bij efficiënte en effectieve inzet van overheidsgeld (maatschappelijk geld). Uitvoerende partijen willen graag toegevoegde waarde voor toekomstige projecten met als uiteindelijk doel betere financiële resultaten in projecten. En de diverse kennisinstituten dragen eigenlijk een algemeen gedeelde motivatie; kennis ontwikkeling en verspreiding. Daarnaast is de bewustwording van de geotechnische problemen voor alle deelnemers een uitdaging én doelstelling.
- *Welke rol speelt de deelnemer precies in de organisatie van Geo-Impuls?*
De meeste deelnemers zijn allemaal managementteam-lid, vooral opererend op management niveau en niet actief op inhoud gerelateerde vraagstukken.
- *Wat vindt de deelnemer van het vastgestelde Geo-Impuls programma?*
Deelname van diverse gerenommeerde bedrijven is al een meerwaarde voor de bouwsector. Verdere ontwikkelingen realiseren in de werkgroepen is de volgende stap.
- *Wat zijn de verwachtingen van de deelnemer met betrekking tot het onderzoek naar de percepties van geotechnisch falen en het onderzoek van de collega student?*
Alle deelnemers zijn benieuwd naar de resultaten. Daarnaast was één deelnemer benieuwd wat er nu precies wordt geleerd van geotechnisch falen.

De afgenomen interviews met de stuurgroepleden waren niet alleen en enkel om kennis te maken. Naast de kennismakingsfunctie hebben de interviews bijgedragen aan de volgende resultaten en inzichten:

- Een beter overzicht van alle organisatorische aspecten van Geo-Impuls. Duidelijk is geworden welke rol de stuurgroep en het kernteam binnen Geo-Impuls vervult;
- Inzichtelijk gemaakt welke diverse belangen er spelen binnen Geo-Impuls, welke motivatie de deelnemers hebben en wat de verwachtingen zijn op lange termijn (2015);
- Meerdere stuurgroepleden hebben diverse tips en daarmee enkele onderwerpen voor de enquête aangedragen. Onderwerpen zoals positieve projecten/ervaringen, oplossingsrichtingen en de mate van bewustwording van geotechnische problemen in de sector.

2.2 Onderzoekskader

Het onderzoekskader wordt beschreven door een probleemschets (paragraaf 2.2.1) en een doelstelling (paragraaf 2.2.2). Hierbij zal blijken dat beide onderwerpen tweeledig zijn en dat dit onderzoek slechts een klein, maar belangrijk deel zal kunnen bijdragen aan het Geo-Impuls programma.

2.2.1 Probleemschets

Geo-Impuls is bezig haar kennis en producten te ontwikkelen en te implementeren binnen een aantal projecten in de Nederlandse gww-sector. Omdat de Geo-Impuls nog maar kort geleden is gestart, zijn de effecten van deze implementatie nog onbekend. Het is daarom niet duidelijk of de organisatie op de goede weg is bij het behalen van haar doelstelling. Anderzijds zijn mogelijke veranderingen binnen de gww-sector moeilijk terug te leiden tot het Geo-Impuls programma. De beoogde positieve ontwikkelingen binnen de sector hoeven namelijk niet het gevolg te zijn van Geo-Impuls producten en kennis. De organisatie wil het een en ander graag duidelijk hebben, waarmee de probleemstelling van Geo-Impuls als volgt samen te vatten is:

De Geo-Impuls organisatie wil een duidelijker beeld van haar behaalde resultaten tot nu toe. De organisatie wil zo aantoonbaar maken in welke mate de Geo-Impuls doelstelling in 2015 daadwerkelijk is bereikt.

Om tot een oplossing van dit probleem te komen heeft de organisatie drie onderzoekssporen uitgezet (zie paragraaf 1.4). De beschikbare informatie vanuit de praktijk is echter nog beperkt. Uitvoeren van het derde onderzoeksspoor is daarom lastig. Daarom is gekozen om dit onderzoek meer te richten op de basis van het Geo-Impuls programma: het ontstaan van de werkgroepen. Het derde spoor zal in een later stadium met een nieuw onderzoek worden onderzocht. De wetenschappelijke basis achter de inhoudelijke thema's voor de twaalf huidige werkgroepen ontbreekt nog. De probleemstelling van dit onderzoek is daarom als volgt te beschrijven:

De Geo-Impuls organisatie wil onafhankelijk en wetenschappelijk getoetst hebben of het programma aansluit bij de belangrijkste oorzaken van geotechnisch falen en daarmee oplossingen biedt die naar alle waarschijnlijkheid een significante bijdrage leveren aan het realiseren van de Geo-Impuls doelstelling in 2015.

Op het gebied van faalkosten (projectfalen) is er vergelijkbaar onderzoek gedaan door Avendaño Castillo (2011). Dit onderzoek richt zich meer specifiek op geotechnisch falen (grondgebonden projectfalen). In de volgende paragraaf zal dit verder uitgewerkt worden in de vorm van een doelstelling, waarbij eveneens duidelijk onderscheid zal worden gemaakt tussen de doelstelling van Geo-Impuls en de doelstelling van dit onderzoek.

2.2.2 Doelstelling

Dit onderzoek zal de faalkosten problematiek binnen de gww sector niet oplossen. Evengoed zal dit onderzoek ook niet direct bijdragen aan de vraag *hoe* het Geo-Impuls programma doelmatiger en doeltreffender gemaakt kan worden. Wel zal dit onderzoek in belangrijke mate een beter inzicht kunnen verschaffen in de vraag *waarom* het programma al dan niet inhoudelijk van vorm moet veranderen om de Geo-Impuls doelstelling in 2015 te bereiken. De doelstelling van dit onderzoek (*binnen* het Geo-Impuls programma) wijkt daarom af van de doelstelling *van* het Geo-Impuls programma zelf.

Het doel van *Geo-Impuls* is immers:

'In 2015 moet het geotechnisch falen in Nederlandse GWW-projecten met minimaal de helft zijn teruggebracht.'

Het doel van *dit onderzoek* echter:

'Het in beeld brengen van de belangrijkste oorzaken en beheersmaatregelen van geotechnisch falen in nationale en internationale bouwprojecten.'

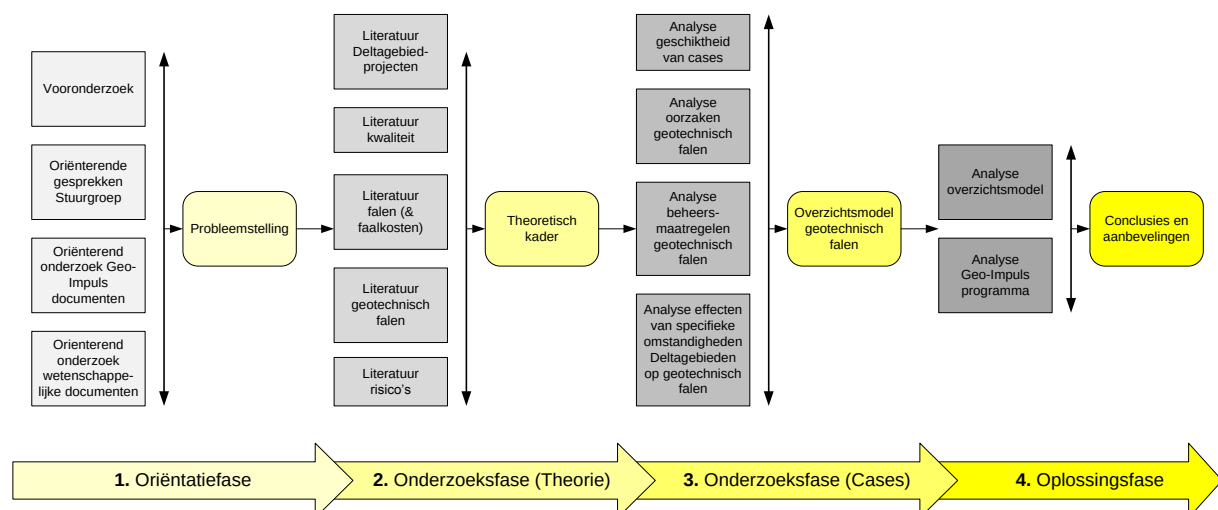
Dit onderzoek zal zich richten op de laatstgenoemde doelstelling, om zo een bijdrage te kunnen leveren aan het bereiken van de eerstgenoemde doelstelling. Het onderzoek richt zich hierbij op alle wetenschappelijk beschreven, nationaal en internationaal gefaalde bouwprojecten die (fysiek gezien) ook in Nederland plaats hadden kunnen vinden. Grote damprojecten in rotsformaties zijn hiermee bijvoorbeeld uitgesloten.

Deze zogenaamde 'Deltagebiedprojecten' zullen hiermee belangrijke informatie verschaffen voor toekomstige Nederlandse projectsituaties. Kenmerken van Deltagebieden zijn bijvoorbeeld een slappe ondergrond, hoge grondwaterstanden en grote overstromingskansen. De Nederlandse situatie wordt echter ook nog gekenmerkt door archeologische vindplaatsen, veel dichte bebouwing en aanwezigheid van kabels en leidingen. Vanaf hoofdstuk 4 zullen deze kenmerken gebruikt worden om de in dit onderzoek gevonden informatie te filteren op bruikbaarheid.

Voor het achterhalen van deze informatie is wel een concreet onderzoeksmodel en een gerichte vraagstelling nodig. Deze zullen verder worden uitgewerkt in de volgende paragrafen.

2.3 Onderzoeksmodel

Het onderzoeksmodel structureert dit onderzoek in verschillende fasen (figuur 2.1 & bijlage 1). Dit model geeft een aanzet voor de vraagstelling, literatuursuggesties en helpt een beeld te geven bij de te kiezen inhoudsopgave voor dit onderzoek (Verschuren & Doorewaard, 2007):



Figuur 2.1: Onderzoeksmodel

De verticale pijlen geven hierbij confrontaties tussen onderzoeksobjecten weer. In veel gevallen zullen deze onderzoeksobjecten (wetenschappelijke) literatuurstukken betreffen. In andere gevallen zullen de analyseresultaten bijvoorbeeld geverifieerd en gevalideerd moeten worden, waarbij de onderzoeksobjecten personen (experts/leden Geo-Impuls) zullen betreffen. De horizontale pijlen geven het resultaat van deze confrontaties weer, waarbij elke fase telkens een eigen eindproduct oplevert.

De eerste fase van dit onderzoek is hierbij ingericht als *probleemanalyse*, waarbij getracht wordt de probleemgebieden van het Geo-Impuls programma te identificeren. De tweede fase is vooral *theorie-ontwikkellend*, waarbij nieuwe definities voor enkele kernbegrippen zullen worden ontwikkeld. De derde fase is sterk *diagnostisch*, waarbij de achtergronden, oorzaken en mogelijke beheersmaatregelen van geotechnisch gefaalde cases zal worden geanalyseerd. De vierde fase is vooral *evaluatief*, waarbij het Geo-Impuls programma zal worden geconfronteerd met de analyseresultaten uit de vorige fase.

2.4 Vraagstelling

Bij de vraagstelling van dit onderzoek wordt onderscheid gemaakt tussen een centrale onderzoeksvraag en een zestal deelvragen. Hierbij moeten de deelvragen stuk voor stuk beantwoordt worden om tot een antwoord te komen voor de centrale onderzoeksvraag. Voor dit onderzoek geldt de volgende vraagstelling:

Centrale onderzoeksvraag:

In welke mate sluit het huidige Geo-Impuls programma aan bij de belangrijkste oorzaken en beheersmaatregelen van geotechnisch falen?

De centrale onderzoeksvraag geldt hierbij als leidraad voor het ontwikkelen van deel- en subvragen. Deelvraag 1 vormt het theoretisch kader van dit onderzoek (fase 2 onderzoeksmodel). Deelvragen 2 t/m 5 vormen samen de casestudie van dit onderzoek (fase 3). Deelvraag 6 betreft tenslotte de oplossingsfase van dit onderzoek (fase 4):

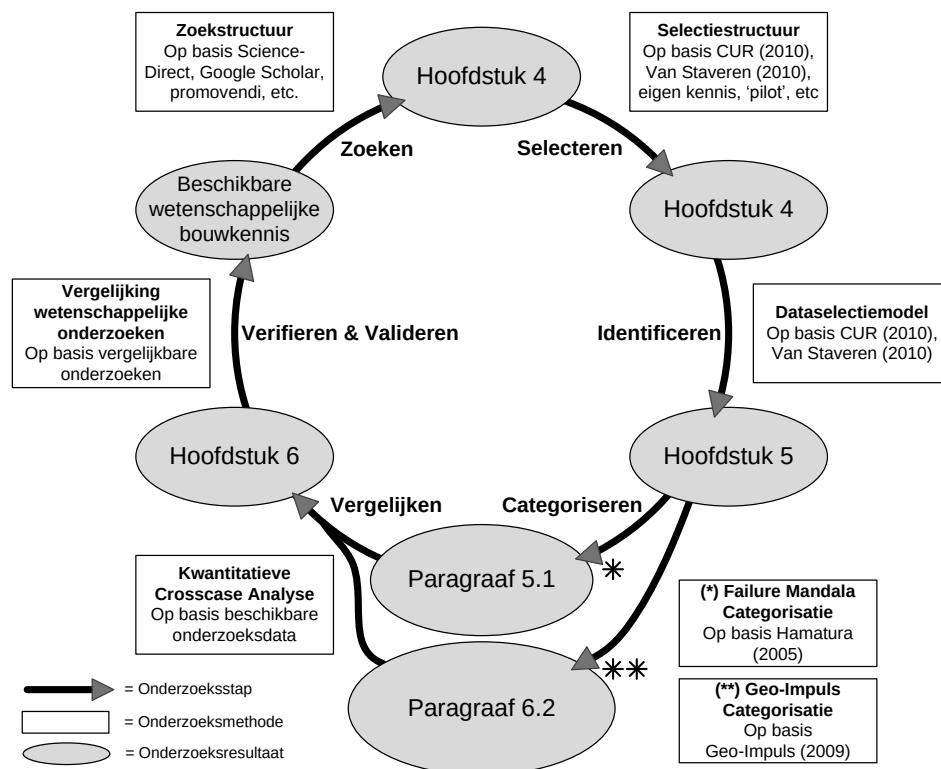
Deelvragen:

1. *Wat zijn de kenmerken van geotechnisch falen?*
 - 1.1. Op welke manier kan kwaliteit bij bouwprojecten omschreven worden?
 - 1.2. Op welke manier kan falen bij bouwprojecten omschreven worden?
 - 1.3. Op welke manier kan geotechnisch falen bij bouwprojecten omschreven worden?
 - 1.4. Op welke manier kan risico bij bouwprojecten omschreven worden?
 - 1.5. Op welke manier kan geotechnisch risico omschreven worden?
2. *Welke wetenschappelijke cases voldoen aan de in deelvraag 1 beschreven kenmerken?*
 - 2.1. Welke criteria zijn er voor wetenschappelijke cases?
 - 2.2. Welke criteria zijn er voor het zoeken van wetenschappelijke cases?
 - 2.3. Welke criteria zijn er voor de bruikbaarheid van wetenschappelijke cases?
 - 2.4. Welke wetenschappelijke cases zijn geschikt voor dit onderzoek?
3. *Welke oorzaken van geotechnisch falen worden beschreven in de in deelvraag 2 geselecteerde cases?*
 - 3.1. Op welke manier kunnen oorzaken van geotechnisch falen omschreven worden?
 - 3.2. Welke oorzaken van geotechnisch falen worden beschreven in de cases op micro-, meso- en macroniveau?
 - 3.3. Welke categorisatie van oorzaken is er mogelijk op de drie niveaus?
 - 3.4. Welke validiteit en verificatie heeft deze categorisatie van oorzaken?
4. *Welke effecten van geotechnisch falen worden beschreven in de in deelvraag 2 geselecteerde cases?*
 - 4.1. Op welke manier kunnen gevolgen van geotechnisch falen omschreven worden?
 - 4.2. Welke gevolgen van geotechnisch falen worden beschreven in de cases?
 - 4.3. Welke verificatie en validiteit hebben de geïdentificeerde gevolgen?
5. *Welke beheersmaatregelen bij geotechnisch falen worden beschreven in de in deelvraag 2 geselecteerde cases?*
 - 5.1. Op welke manier kunnen beheersmaatregelen bij geotechnisch falen omschreven worden?
 - 5.2. Welke beheersmaatregelen bij geotechnisch falen worden beschreven in de cases op micro-, meso- en macroniveau?
 - 5.3. Welke categorisatie van beheersmaatregelen is er mogelijk op de drie niveaus?
 - 5.4. Welke validiteit en verificatie heeft deze categorisatie van beheersmaatregelen?
6. *In welke mate sluit het huidige Geo-Impuls programma aan op de in deelvragen 3 t/m 5 beschreven oorzaken en beheersmaatregelen van geotechnisch falen?*
 - 6.1. Op welke manier kan de totstandkoming van het Geo-Impuls programma omschreven worden?
 - 6.2. Welke resultaten laat de vergelijking van het Geo-Impuls programma met de gekozen oorzaakategorisatie zien?
 - 6.3. Wat is de haalbaarheid van de Geo-Impuls doelstelling in 2015?

2.5 Onderzoeksmethode

Het gekozen onderzoeksmodel (paragraaf 2.3) en de onderzoeksvragen (paragraaf 2.4) hebben geleid tot een beter inzicht in de aanpak van dit onderzoek. Deze zogenaamde onderzoeksmethode kan per fase als volgt beschreven worden:

- De *oriëntatiefase* is bedoeld om de door Geo-Impuls aangedragen probleemstelling te toetsen en uit te diepen. Het in eerste instantie door Geo-Impuls en de Universiteit Twente opgestelde onderzoeksvoorstel was namelijk erg summier. Semigestructureerde oriënterende interviews met individuele stuurgroepleden brachten hier meer inzicht in. Een samenvatting van de resultaten is te vinden in bijlage 2. De interviews zijn gebaseerd op interne Geo-Impuls documenten en wetenschappelijke documenten betreffende geotechnisch falen, risico's en faalkosten.
- De *theorie-onderzoeksfase* is bedoeld een theoretisch concept te ontwikkelen voor de uitvoering van dit onderzoek. Dit zogenaamde theoretisch kader maakt eerdere wetenschappelijke inzichten omtrent geotechnisch falen inzichtelijk. Daarnaast koppelt het begrippen als faalkosten, risico's en geotechnisch falen aan elkaar en legt dit onderzoek hun betekenis vast voor gebruik in het Geo-Impuls programma. Hiermee wordt duidelijk welke kennis er nog ontbreekt voor een gerichte aanpak van geotechnisch falen.
- De *case-onderzoeksfase* is de start van het daadwerkelijke onderzoek en is bedoeld om het theoretisch kader te toetsen aan de praktijksituatie. Verschillende oorzaken, effecten en beheersmaatregelen van geotechnisch falen zijn hierbij geïdentificeerd om tot een meer kwantitatief overzicht van het probleem te komen. Dit is de meest omvangrijke en centrale fase van dit onderzoek (*Zoeken t/m Identificeren* in figuur 2.2).
- De *oplossingsfase* is vooral bedoeld om de meest frequent genoemde oorzaken kwantitatief te vergelijken met het huidige Geo-Impuls programma. Afwijkingen hiertussen moeten hierbij aanwijzingen opleveren voor de doelmatigheid en doeltreffendheid van het programma. Op basis hiervan zijn conclusies en aanbevelingen op te stellen voor zowel Geo-Impuls als de Universiteit Twente (*Categoriseren t/m Verifiëren & Valideren* in figuur 2.2).



Figuur 2.2: Onderzoekscyclus

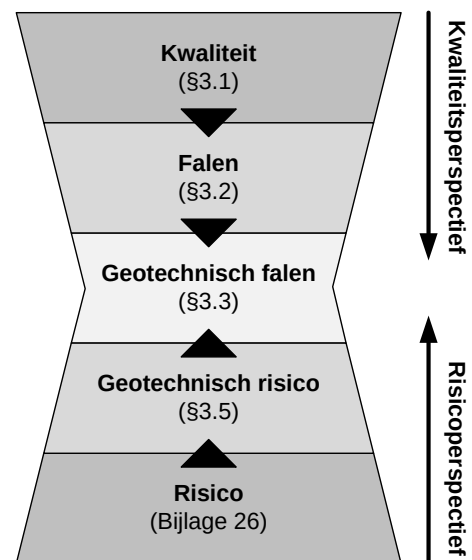
3 Onderzoeksoptiek

De beantwoording van de eerste deelvraag vereist een gedegen onderzoeksoptiek. Onderzoeken naar geotechnisch falen hebben namelijk vaak te maken met een scala aan ‘vage’ begrippen, waarbij geen wetenschappelijke consensus bestaat over de exacte betekenis van deze begrippen. De onderzoeksoptiek wordt daarom vorm gegeven door een literatuurstudie, waarbij de betekenis van het begrip geotechnisch falen zal worden ingekaderd vanuit twee perspectieven: het risico- en het kwaliteitsperspectief.

Bij de inkadering van geotechnisch falen vanuit het kwaliteitsperspectief zal worden begonnen met het definiëren van *kwaliteit* (paragraaf 3.1). Binnen dit kwaliteitskader zal vervolgens meer specifiek worden ingegaan op het *falen* (paragraaf 3.2). Dit kader zal tenslotte nog specifiek worden ingegaan op *geotechnisch falen* (paragraaf 3.3).

Vanuit het risicoperspectief wordt het vorige perspectief gevalideerd: komt de definitie van geotechnisch falen op hetzelfde uit via deze andere invalshoek? Hiervoor zullen de begrippen risico en geotechnisch risico worden gedefinieerd (paragraaf 3.4). Van hieruit zal duidelijk worden dat geotechnisch falen ook vanuit dit perspectief bekeken kan worden en de begrippen daarom sterk aan elkaar gerelateerd zijn.

Het in figuur 3.1 gepresenteerde model geeft met zijn zandlopervorm een visuele weergave van het theoretisch kader. De versmallingen naar het midden toe geven het convergerende karakter van dit theoretische onderzoek weer.



Figuur 3.1: Model voor onderzoeksoptiek

3.1 Kwaliteit van bouwen

Bij het onderzoeken van faalkosten en geotechnisch falen, lijkt vaak voorbij te worden gegaan aan de basis van deze begrippen: kwaliteit. Op dit gebied onderscheidt de bouwsector zich van andere sectoren. Waar andere sectoren zich vooral kunnen focussen op de kwaliteit van hun producten, moet de bouwsector zich ook vooral focussen op de kwaliteit van hun processen. De bouwsector levert namelijk vooral diensten (mankracht, kennis, etc.), in plaats van producten. Proces gerelateerde fouten laten zich echter moeilijker oplossen dan product gerelateerde fouten. Dit maakt de bouwsector gevoeliger voor falen. Om deze reden richt dit onderzoek zich eerst tot het definiëren van kwaliteit. Op deze manier wordt niet alleen het belang, maar ook de (on)mogelijkheden bij het oplossen van ontoereikende kwaliteit in projecten duidelijker gemaakt.

3.1.1 Definitie kwaliteit

Kwaliteit kent geen uniforme definitie. Pogingen van instanties zoals het Nederlands normalisatie instituut (NEN) om één basisdefinitie van kwaliteit vast te leggen hebben hierin weinig verandering gebracht. Verschillende situaties vragen nu eenmaal om verschillende bruikbare definities van kwaliteit (bijlage 25).

Er zijn om die reden vele definities van kwaliteit, afhankelijk van de context waarin het van toepassing is en de toepasselijkheid voor de direct betrokken stakeholders. Zelfs binnen een enkele context kent kwaliteit verschillende definities (bijlage 25). Definities zoals gegeven door Juran (1951 en Crosby (1979) worden vaak gebruikt, maar gaan in sommige situaties (zoals de bouw) niet op. Zo kan een product geschikt zijn voor de eindgebruiker, terwijl het niet altijd voldoet aan de eisen.

Anderzijds kan een product voldoen aan alle gestelde eisen, maar toch niet geschikt blijken voor het uiteindelijke gebruik. Het blijkt vaak moeilijk om vooraf een compleet beeld van de eisen te krijgen. Op deze manier kan men ook geen compleet beeld van kwaliteit krijgen.

Er is dus inconsistentie over de betekenis en waarde van het begrip kwaliteit. Onafhankelijk van de tijd of context waarbinnen kwaliteit is onderzocht heeft het vaak meerdere en verwarrende betekenissen en is het gebruikt om een grote variëteit aan fenomenen te beschrijven (Reeves & Bednar, 1994). Echter, kwaliteit wordt over het algemeen geacht goed meetbaar te zijn. Volgens de ISO 9000 normen kan de mate van kwaliteit bepaald worden door een set van inherente eigenschappen van een product te vergelijken met een set producteisen. Als deze eigenschappen overeen komen met alle eisen, wordt een hoge kwaliteit bereikt. Als deze eigenschappen niet overeen komen met alle eisen, wordt een lage kwaliteit bereikt. Volgens deze definitie is kwaliteit een relatief concept. Het kan immers niet worden vastgesteld in een vacuüm. Het is altijd ten opzichte van een set eisen.

Het vaststellen van kwaliteit in de context van bouw is daarom complex en problematisch. Eisen zijn niet altijd bekend en daarom soms onvolledig. Daarnaast is er vaak sprake van grote aantallen activiteiten en betrokken partijen tijdens het bouwproces waarvoor geen duidelijke (proces)eisen zijn. Ook variëren de organisaties vaak in grootte en technologische mogelijkheden, wat het lastig maakt proces gerelateerde informatie te managen (Love & Irani, 2003).

Kwaliteit is daarom niet altijd een simpele afspiegeling van geïntegreerde eisen en handelingen. Het is dynamisch en gebonden aan verschillende perspectieven. Zo zullen dezelfde producten en processen door opdrachtgever en klant kwalitatief verschillend beoordeeld worden. Reeves & Bednar (1994) hebben daarom vier uniforme basisregels voor definities van kwaliteit geïdentificeerd:

- kwaliteit is Excellentie;
- kwaliteit is Waarde;
- kwaliteit is Conformiteit aan Specificaties;
- kwaliteit is Tegemoetkomen aan- en/of Overtreffen van Klantverwachtingen.

Dit zijn belangrijke regels, aangezien de kwaliteit van de producten en diensten van een bedrijf of organisatie op de lange termijn de belangrijkste overlevingsfactor is ten opzichte van de concurrentie (Buzzell & Gale, 1987). Het is daarom niet de uitdaging om één uniforme definitie te ontwikkelen voor alle mogelijke variabelen en situaties, het is juist zaak definities te ontwikkelen die vergelijkbaar of zelfs cumulatief zijn aan andere definities en ook tellen voor componenten die tot op heden genegeerd zijn (Cameron & Whetten, 1983).

De definitie van kwaliteit zou voor dit onderzoek daarom componenten moeten bevatten die voor de bouwsector van belang zijn. De definitie van Bea (2006) is om deze reden wellicht nog het meest van toepassing op kwaliteit in de bouw (bijlage 25). Aangepast op basisregels van Reeves & Bednar (1994) geeft dit de volgende te gebruiken definitie van kwaliteit:

Kwaliteit:

Tegemoetkomen aan- en/of overtreffen van verwachtingen op het gebied van bruikbaarheid, veiligheid, duurzaamheid en compatibiliteit van een gerealiseerde oplossing, opdat meerwaarde voor de direct betrokken partijen wordt gecreëerd.

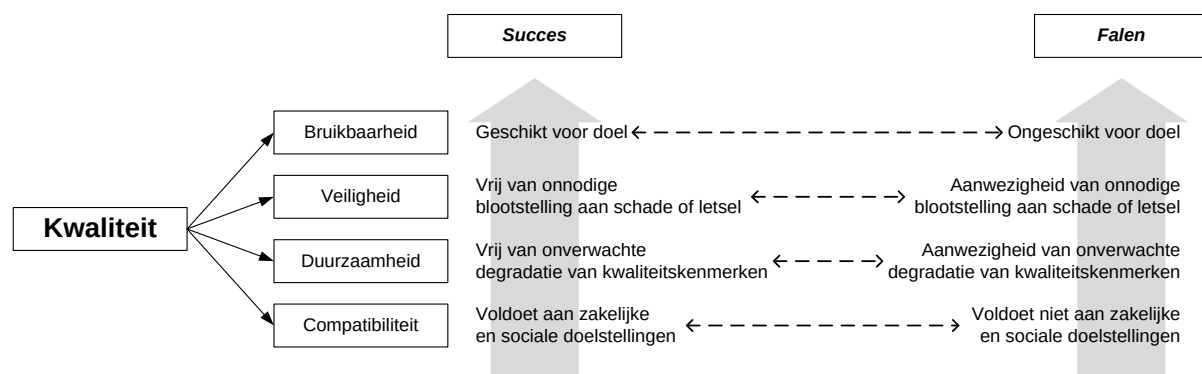
In alle bouwprocessen staat de klant centraal. Bruikbaarheid en compatibiliteit van de ontworpen oplossing zijn hierbij belangrijke aspecten, aangezien deze de meerwaarde voor de klant bepalen. Veiligheid en duurzaamheid worden echter ook steeds belangrijker. Wet- en regelgeving omtrent deze begrippen worden steeds strikter. Negatieve berichtgeving op deze vlakken kunnen desastreus zijn voor de klantwaarde.

Architecten en aannemers dienen daarom op zijn minst tegemoet te komen aan de klantverwachtingen op deze gebieden, ook al staan deze niet zwart op wit op papier.

De klant is echter niet altijd de eindgebruiker. Vaak zijn eindgebruikers ook weer afnemers van de klant. Denk bijvoorbeeld aan een starter op de huizenmarkt, die een appartement van een projectontwikkelaar koopt. De in het bouwproces betrokken partijen dienen hun klanten daarom goed te kennen, aangezien ze anders het project (deels) kunnen laten falen door onbekendheid met de eisen van de eindgebruikers. Op welke manier deze kwaliteit door de hele keten succesvol moet worden bereikt in projectsituaties wordt in de volgende paragraaf besproken.

3.1.2 Kwaliteit bij bouwprojecten

De in de vorige paragraaf vastgestelde definitie van kwaliteit maakt onderscheid tussen verschillende beoordelingsvlakken, waarop men succesvol kan zijn of kan falen (figuur 3.2). De definitie stelt mensen in staat zo nodig een subjectieve beoordeling te hanteren, waar objectieve eisen ontbreken of ontoereikend blijken voor het eindgebruik.



Figuur 3.2: Definiëring kwaliteit (gebaseerd op Bea, 2006)

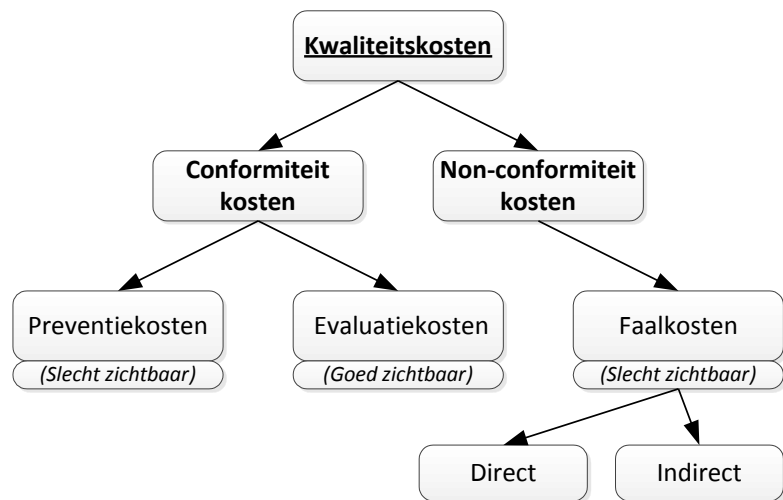
Voor het realiseren van deze kwaliteit bij bouwprojecten zijn, zowel op het product- als procesmatige vlak, investeringen nodig. Niet alleen geld, maar ook mankracht en tijd zijn kosten van kwaliteit (Campanella, 1994). Deze zogenaamde kwaliteitskosten zijn veelvuldig beschreven in de literatuur. Zo maken Barber *et al.* (2000) onderscheid tussen preventiekosten, evaluatiekosten en faalkosten. Abdul-Rahman (1995) maakt weer een ander onderscheid, te weten kosten voor conformiteit en non-conformiteit, als onderdeel van kwaliteitskosten.

Schiffauerova & Thomson (2006) hebben al deze onderzoekskennis samengebracht en kwamen tot een algemeen gebruikt model voor de structurering van kwaliteitskosten (figuur 3.3). Hieruit blijkt dat faalkosten slechts een deel van de totale kosten voor kwaliteit zijn en slecht zichtbaar zijn. Deze faalkosten zijn ook nog eens vaak moeilijk te herleiden op één oorzaak. Op deze faalkosten en de mate van directheid en vermijdbaarheid van deze faalkosten wordt verder in gegaan vanaf paragraaf 3.2.

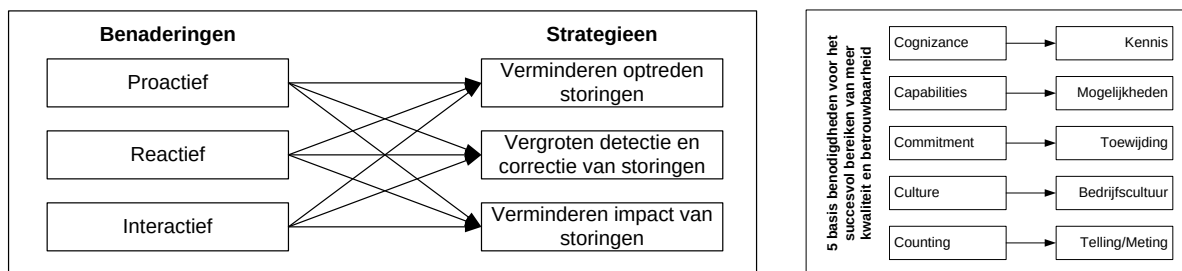
Het model van Schiffauerova & Thomson (2006) geeft des te meer aan dat bij het bereiken van kwaliteit bij bouwprojecten meer kosten gemoeid gaan dan alleen faalkosten. Ook op het vlak van preventiekosten en evaluatiekosten kunnen belangrijke verbeteringen bereikt worden voor het bereiken van meer kwaliteit. Over de hoogte van deze kosten bestaat van tevoren conformiteit tussen klant en architect of aannemer.

Hiermee verschillen deze kosten van faalkosten, waarover vooraf geen consensus bestaat (figuur 3.3). Bij de meeste organisaties binnen de bouw ligt daarom de prioriteit bij het verminderen van deze faalkosten.

Voor het succesvol bereiken van meer kwaliteit onderscheidt Bea (2006) vijf basis benodigdheden (figuur 3.4). In combinatie met de verschillende benaderingen en strategieën benadrukt dit nog maar eens de complexiteit en subjectiviteit bij het bereiken van kwaliteit bij bouwprojecten. Hierbij is vaak bekend *wat* voor een kwaliteit men wil bereiken terwijl er veel minder aandacht is voor *hoe* deze kwaliteit bereikt moet worden (van Dam, 2009).



Figuur 3.3: Kosten voor kwaliteit (gebaseerd op Schiffauerova & Thomson, 2006)



Figuur 3.4: Bereiken van kwaliteit (gebaseerd op Bea, 2006)

Deze prestatiecultuur, zoals van Dam (2009) dit ook wel noemt, wordt in stand gehouden door de economische benadering van bouwprojecten. De meeste opdrachten worden nog steeds op basis van de laagste prijs gegund, waar aannemers zich tegelijkertijd onder de kostprijs inschrijven voor projecten om omzet te kunnen blijven genereren. Dit leidt vervolgens tot een vicieuze cirkel waarbij er voor de opdrachtnemer geen ruimte meer overblijft voor creatieve product- en procesoplossingen en verbeteringen. Dit bevestigt vervolgens weer het beeld dat de bouw niet innovatief zou zijn. (PSI Bouw, 2009). Daarnaast preferiert de sector vooral korte termijn doelstellingen, wat zich vertaalt in werkvoorraad en omzet, boven de lange termijn doelstelling (Dorée, 2001). Zonder zowel korte- als lange termijn verbeteringen neemt de kans op falen toe, evenals de hoeveelheid faalkosten. Deze begrippen komen in de volgende paragraaf aan bod.

3.2 Falen in de bouw

Bij ieder bouwproject zal een verschillende mate van kwaliteit bereikt worden. De betrokken organisaties in deze bouwprocessen zullen hiermee in meer of mindere mate succesvol zijn of falen bij het bereiken van hun doelstellingen. Dit projectfalen wordt steeds vaker uitgedrukt in percentages faalkosten waarmee een project te maken heeft gehad. Internationale percentages overschrijden hierbij niet zelden 25% van het oorspronkelijke projectbudget (Flyvbjerg *et al.* 2003). De definiëring en inkadering van falen en faalkosten blijkt lastig. Onderzoeken naar faalkosten zijn vaak op basis van (expert-)inschattingen en zijn hiermee subjectief. Een objectief beeld van deze zogenaamde faalkostenproblematiek ontbreekt hierdoor vaak. Voor de Nederlandse situatie zal dit onderzoek hier geen verandering in kunnen brengen. Wel wordt getracht een beter begrip van deze definities te ontwikkelen. Hiervoor worden eerst meer bruikbare, zogenaamd *cumulatievere* (Cameron & Whetten, 1983) definities ontwikkeld voor falen en faalkosten (paragraaf 3.2.1). Delen van deze definities zijn onderling uitwisselbaar en vullen elkaar zo mogelijk aan. Vervolgens zullen deze

definities in het licht van de nieuwste onderzoeksresultaten worden gehouden op het gebied van falen bij bouwprojecten (paragraaf 3.2.2).

3.2.1 Definitie falen

Het begrip faalkosten is niet geïntegreerd in het model van de onderzoekoptiek (figuur 3.1). Faalkosten worden in dit onderzoek namelijk gezien als onderdeel van falen; de manier waarop projectfalen tot uiting komt tijdens bouwprojecten en –processen. Falen kan hierbij worden gezien als het niet behalen van gestelde prestatiedoelen (van Dam, 2009). Waar falen bij projecten (ook wel projectfalen genoemd) een meer overkoepelend en cumulatief begrip is, geven faalkosten een beter inzicht in de betekenis ervan. Falen en faalkosten zijn veel gebruikte begrippen in de bouwsector en de gehanteerde definities zijn uiteenlopend van aard (Love en Edwards, 2005)(bijlage 25). *Rework costs*, *costs of non-conformity* en *failure costs* gaan allemaal over falen en faalkosten. De auteurs hebben enkel gemeen dat men faalkosten beschrijft als een gevolg van falen, conform de vastgestelde eisen (Avendaño Castillo, 2011).

Uit de verschillende definities van falen kunnen twee componenten worden herleid die belangrijk zijn voor de benoeming ervan: het *perspectief* en de *criteria*. Voor het perspectief van falen is het belangrijk te weten vanuit welke stakeholder het falen beschouwd wordt en wat deze stakeholder zijn belangen zijn. De criteria bepalen vervolgens de mate van falen (of succes), door na te gaan in hoeverre ‘het nagestreefde’ is bereikt bij het project. Het streven kan hierbij bijvoorbeeld zijn om binnen het projectbudget of –planning te blijven. Afhankelijk van deze componenten bestaan er uiteenlopende meningen over de mate waarin iets kan worden benoemd als succes of falen.

Succes is een relatief én subjectief begrip (van Dam, 2009). Er bestaat geen absoluut succes. Iedereen heeft er, afhankelijk van zijn perspectief of criteria, een andere kijk op. Waar een project voor de één een succes is, kan de ander het als een mislukking (falen) zien. Hierbij wordt nog een derde component geïntroduceerd, te weten de *tijdsdimensie*. Zo was asbest voorheen een zeer veel gebruikt en innovatief product. Het voldeed vanuit elk perspectief aan alle criteria, maar is tegenwoordig een grote bron van zorg. Ander voorbeeld is het Sydney Opera House (Australië), waarbij de criteria projectbudget en de projectplanning vele malen overschreden werden bij de bouw. Vanuit het perspectief van investeerders, gebruikers en de opdrachtgever was dit project destijds een mislukking. Tegenwoordig is het bouwwerk het belangrijkste symbool van Australië en staat het sinds 2007 op de UNESCO-werelderfgoedlijst.

Bij falen wordt er dus in een bepaalde tijdsdimensie, volgens één stakeholder perspectief, niet voldaan aan één of meerdere criteria van kwaliteit. Hierbij integreert de definitie van kwaliteit al het perspectief (klant/eindgebruiker) en de criteria (verwachtingen). De tijdsdimensie is minder helder te definiëren, aangezien het moeilijk is rekening te houden met wat de toekomst brengt. De definitie van falen in de bouwsector wordt om die reden als volgt omschreven (zie ook definitie kwaliteit, paragraaf 3.1.1):

Falen:

Het niet doeltreffend en doelmatig leveren van de beoogde kwaliteit bij het realiseren van een bouwproject, met faalkosten als gevolg.

De definitie van faalkosten heeft een sterke oorzaak-gevolg relatie met falen en wordt als volgt omschreven:

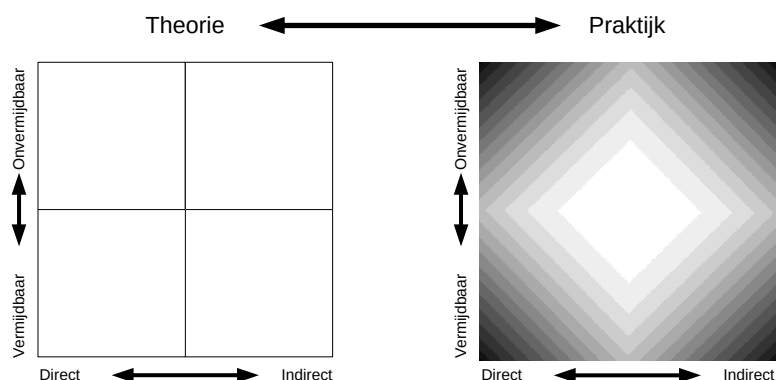
Faalkosten:

Alle financiële schade als gevolg van falen die voorkomen had kunnen worden wanneer de beoogde kwaliteit van het gerealiseerde bouwproject doeltreffend en doelmatig zou zijn geleverd.

In spraakgebruik en in de literatuur bestaat nogal wat verwarring rond effectief en efficiënt (in 't Veld, 2007). Synoniemen hiervoor zijn doeltreffendheid en doelmatigheid. Voor dit onderzoek is hiervoor gekozen, omdat hier minder verwarring over bestaat. Voor beide definities spelen doeltreffendheid en doelmatigheid een belangrijke rol. Met *doeltreffendheid* wordt bedoeld; de mate van realisatie van een doel. Doeltreffendheid is

hiermee vooral een product (resultaat) gerelateerd begrip. Doelmatigheid is veel meer een proces gerelateerd begrip. Met *doelmatigheid* wordt bedoeld; de mate van gebruik van middelen om een bepaald doel te bereiken (in 't Veld, 2007). Zo komt de doelmatigheid bij de realisatie van een bouwproject bijvoorbeeld onder druk te staan door de benodigdheid van extra investeringen (geld), planningsoverschrijdingen (tijd) en extra manuren en grondstoffen (middelen). De doeltreffendheid van de realisatie van een bouwproject komt daarentegen pas onder druk te staan bij projecteisen of –verwachtingen waaraan niet kan worden voldaan door een opdrachtnemer. Deze begrippen zijn hiermee ook sterk gerelateerd aan de eerder genoemde tijdsdimensie, aangezien in een andere tijd wellicht met dezelfde processen en resultaten een andere doelmatigheid en doeltreffendheid behaald zou worden. Dat de begrippen in deze paragraaf niet altijd duidelijk als zwart-wit gezien kunnen worden blijkt vooral uit een nadere observatie van het begrip faalkosten. Uit figuur 3.3 bleek al dat er een verschil bestaat tussen interne en externe faalkosten, ook wel directe en indirecte faalkosten genoemd (Crosby, 1979). Voorbeelden van directe faalkosten zijn alle kosten die gemaakt worden om problemen bij de bouw van een project op te lossen voordat deze de klant bereiken (herstelkosten). Indirecte faalkosten zijn daarentegen bijvoorbeeld kosten die een organisatie oploopt als gevolg van imagoschade, nadat het product of de dienst ontvangen is door de klant. Daarnaast worden faalkosten vaak gezien als *vermijdbaar tekortschieten* (BouwKennis, 2010). Er moet in sommige gevallen dus ook sprake zijn van *onvermijdbaar tekortschieten*. Resodihardjo (2010) stelt hierbij dat externe (indirecte) factoren altijd oorzaak zijn aan dit onvermijdbare falen. In theorie zouden interne (directe) factoren hier ook aan bij kunnen dragen (figuur 3.5)

Vaak is niet meteen duidelijk of de geïdentificeerde faalkosten vermijdbaar, onvermijdbaar, direct of indirect zijn. In de praktijk zijn er talloze 'grijze gevallen' (figuur 3.5). Dit levert discussies op onder betrokkenen. Hierbij wordt vergeten dat faalkosten een resultante zijn van falen. Het traceren van deze precieze oorzaken blijkt in de praktijk vrij complex (figuur 5.2).



Figuur 3.5: Grijze gebied van falen

3.2.2 Falen bij bouwprojecten (projectfalen)

Falen bij bouwprojecten, ook wel projectfalen genoemd, heeft vaak het ontstaan van faalkosten als gevolg. Projectfalen is vaak weer het gevolg van dieper liggende oorzaken. Deze oorzaken en de verschillende vormen van directe en indirecte schade worden in de volgende alinea's besproken.

3.2.2.1 Oorzaken projectfalen

Uit een literatuurstudie van Avendaño Castillo (2011) naar projectfalen in de Nederlandse bouwsector is gebleken dat er al veel onderzoek is gedaan naar falen en faalkosten. Hierbij worden uiteenlopende, niet altijd uniforme oorzaken onderscheiden. Wel worden bepaalde oorzaken vaker genoemd dan andere. Volgens Avendaño Castillo zijn de twaalf belangrijkste categorieën van oorzaken van projectfalen:

- | | |
|---|---------------------------------|
| 1. Slechte planning en coördinatie | 7. Materieelproblemen |
| 2. Slechte kwaliteitscontrole | 8. Materiaalproblemen |
| 3. Slecht vakmanschap | 9. Grond gerelateerde problemen |
| 4. Communicatieproblemen | 10. Motivatieproblemen |
| 5. Ontwerp gerelateerde problemen | 11. Tijdsdruk |
| 6. Slechte prestaties van externe partijen (onderaannemers) | 12. Onvoorziene omstandigheden |

Op basis van deze twaalf belangrijkste oorzakelijke categorieën zijn diverse experts geconfronteerd met twee vragen: welke van deze twaalf oorzaken van projectfalen naar hun mening het meest frequent voorkomen en welke oorzaken naar hun mening de meeste impact hebben op het projectbudget. Een top drie is samengesteld op basis van de antwoorden op deze twee vragen (tabel 3.1):

Tabel 3.1: Top 3 oorzaken projectfalen (Avendaño Castillo, 2011)

Oorzaken falen	Gemiddelde rangschikking	
	<i>Frequentie van voorkomen</i>	<i>Impact op projectkosten</i>
<i>Grond gerelateerde problemen</i>	1	1
<i>Communicatieproblemen</i>	2	2
<i>Onvoorziene omstandigheden</i>	3	4
<i>Ontwerp gerelateerde problemen</i>	5	3

Avendaño Castillo (2011) stelt dat er bij deze rangschikking (1=meest significant, 12=minst significant) op sommige punten een goede mate van overeenstemming is geweest tussen de verschillende experts. Wat betreft onvoorziene omstandigheden en grondgerelateerde problemen was dit echter niet het geval. Dit onderzoek stelt hiermee dat er een beter besef van de oorzaken en impact van geotechnisch falen moet komen onder de verschillende stakeholders.

3.2.2.2 Gevolgen projectfalen

Projectfalen kan leiden tot schade. Hierbij moet schade breed worden opgevat. Er zijn namelijk verschillende vormen en categorieën. Voor de bouwsector zijn de volgende categorieën te onderscheiden (CUR, 2010):

- *Faalkosten:* (Geld) Bijv: kostenoverschrijdingen, vertraging, slechte kwaliteit.
- *Omgevingsschade:* (Hinder) Bijv: verzakkingen van woningen door bouwwerkzaamheden.
- *Gevolgschade:* (Kwaliteit) Bijv: schade ontstaan door het reageren op een gebeurtenis.
- *Onveiligheid:* (Veiligheid) Bijv: ongevallen, persoonlijke letsels, etc.
- *Imagoschade:* (Reputatie) Bijv: een negatief beeld over een project of instantie.

Dit onderzoek wil hier nog een gevolg aan toevoegen, aangezien de categorie tijd anders gemist wordt:

- *Schade aan planning:* (Tijd) Bijv: vertragingen in de planning, oponthoud van leveringen.

3.3 Geotechnisch falen in de bouw

Projectfalen kan breed worden opgevat en vindt plaats op alle niveaus binnen projecten en organisaties, zo bleek uit de vorige paragrafen. Om de gevolgen van dit projectfalen concreet, maar toch ook grootschalig aan te pakken is daarom een concretere, ingekaderde aanpak nodig. Zo wees onderzoek van Van Staveren & Pereboom (2006) uit dat 50-85% van de faalkosten een directe of indirecte oorzaak heeft in de ondergrond van een project. Door de aanpak van projectfalen specifiek te richten op dit zogenoemde geotechnisch falen, wordt ook de remedie straks al een stuk concreter.

Een heldere, bruikbare omschrijving is nodig voor geotechnisch falen. Waar de vorige paragrafen achtereenvolgens al 'bouwprojecten', 'kwaliteit' en 'falen' hebben gedefinieerd, zal deze paragraaf de voorgaande kennis gebruiken om 'geotechnisch falen' te definiëren (paragraaf 3.3.1). Vervolgens zal beschreven worden welke invloed dit begrip heeft op bouwprojecten, door de oorzaken en gevolgen van geotechnisch falen bij bouwprojecten te onderzoeken (paragraaf 3.3.2). Hieruit zal blijken dat er nog niet veel gericht onderzoek is gedaan naar geotechnisch falen en dat veel informatie vaak indirect verkregen moet worden uit andere onderzoeken. Gezien het grote percentage faalkosten met een (in)directe oorzaak in de ondergrond, benadrukt dit nog maar eens het belang van verder onderzoek naar geotechnisch falen.

3.3.1 Definitie geotechnisch falen

Er is weinig onderzoek uitgevoerd naar het begrip geotechnisch falen. De weinige stukken die dit wel hebben gedaan (bijlage 25) geven echter geen specifiek geotechnische omschrijving van het begrip en zijn eerder van toepassing op het algemenere '(project)falen'. Deze bevindingen geven aan hoe weinig specifiek de onderzoeken zijn voor het geotechnische aspect van falen. Het is daarom belangrijk voor dit onderzoek om een definitie te presenteren voor geotechnisch falen. Deze definitie zal zo veel mogelijk cumulatief gemaakt worden, opdat het aansluit aan de in de vorige paragraaf gepresenteerde definities. Op deze manier moet de definitie passen binnen de onderzoeksoptiek (figuur 3.1).

Van Staveren (2010b) geeft in zijn geotechnische incidentenanalyse bij benadering de meest doeltreffende omschrijving. Hierin omschrijft hij een *geotechnisch incident* als "een optreden van een gebeurtenis met negatieve effecten voor één of meerdere stakeholders, met één of meerdere oorzaken die te maken hebben met bouw in grond, op grond of met grond." Om te weten wat geotechnisch falen precies is, moet men eerst weten wat geotechniek dan precies inhoudt. Diverse begrippen met min of meer overlappende betekenissen vallen onder geotechniek: geo-engineering, grondmechanica, funderingstechniek enzovoort. Daarnaast zijn er ook een aantal vakgebieden die dicht bij elkaar liggen en ook deels overlappen, te weten ingenieursgeologie, geohydrologie en geomilieukunde. Over het algemeen kan men stellen dat bij alle disciplines, een goede uitvoering van projecten in of op de grond van belang is. Van Staveren (2010a) definieert geotechniek als "ontwerp en uitvoering van constructies in, op of met de grond." De definitie van geotechniek binnen de CUR (2010) sluit daar prima op aan: "de discipline van het ontwerpen en uitvoeren van geotechnische constructies in of op de grond". Constructies worden in beide publicaties omschreven als funderingen voor woningen, dijken, wegen, tunnels, enz. Op basis van de inzichten uit deze paragraaf en de gekozen definities uit de vorige paragrafen is daarom gekozen voor de volgende definitie van geotechnisch falen, die gebruikt zal worden in dit onderzoek. Hierbij is bewust gekozen voor een relatief kort en bondige definitie, om zo de lees- en werkbaarheid van de definitie te vergroten. De complete definitie zal in paragraaf 3.5 worden gepresenteerd.

Geotechnisch falen:

Het niet doeltreffend en doelmatig leveren van de beoogde kwaliteit bij het realiseren van een bouwproject in of op de grond, met grondgerelateerde faalkosten als gevolg.

Hierbij moet onthouden worden dat, in het geval van instorting van een project ná de voltooiing, dit dus nog wel degelijk onder (geotechnisch) falen valt. Er wordt geacht dat architecten en aannemers een klantoplossing voor meerdere situaties en langere tijd aandragen. Hierdoor zou echter wel discussie kunnen ontstaan over wat nu de lengte van deze aansprakelijkheidstermijn zou moeten zijn om nog te kunnen spreken van geotechnisch falen in plaats van ouderdomsfalen.

Bij deze definitie wordt er vanuit gegaan dat er altijd een menselijke oorzaak achter het falen ligt, aangezien de oorzaak ligt in het niet effectief en/of efficiënt leveren van kwaliteit door een individu, organisatie of sector (Sowers, 1993; Atkinson; 1996; Bea, 2006). Zo kan een op het eerste oog puur technische oorzaak zoals het bezwijken van een bouwobject op instabiele grond in tweede instantie worden toegewezen aan onvoldoende en/of onjuiste kennis bij de technisch ontwerpers van het bouwobject (Wearne, 2008; Mitchell; 2009). Tevens wordt er vanuit gegaan dat het optreden van dit geotechnisch falen altijd een negatief effect heeft voor één of meer stakeholders binnen het bouwproces. De door Van Staveren (2010b) gepresenteerde definitie van een geotechnisch incident, is hiermee ook meteen geïntegreerd in de zojuist gepresenteerde definitie van geotechnisch falen.

3.3.2 Geotechnisch falen bij bouwprojecten

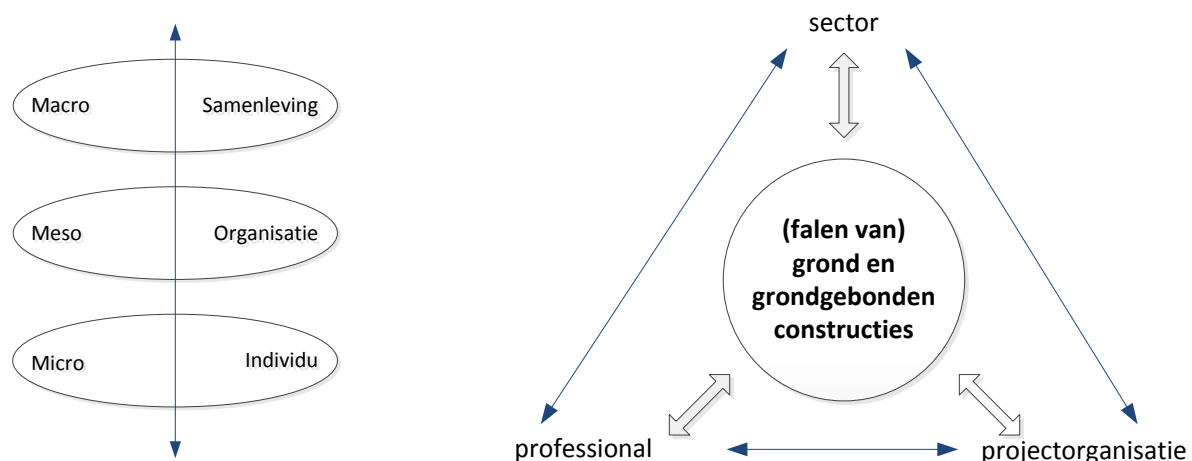
Falen bij bouwprojecten, ook wel projectfalen genoemd, heeft vaak het ontstaan van faalkosten als gevolg. Projectfalen is vaak weer het gevolg van dieper liggende oorzaken. Deze oorzaken en de verschillende vormen van directe en indirecte schade worden in de volgende alinea's besproken.

3.3.2.1 Oorzaken geotechnisch falen

In het CUR (2010) rapport “Leren van geotechnisch falen” worden diverse structurele oorzaken van falen van grond en grondgebonden constructies benoemd. Onderzoek naar deze oorzaken is gebaseerd op:

- Een crosscase analyse (6 case studies);
- Aansluitende expertmeting;
- Lessen uit de schadegevallen van 40 bouwputten (Van Tol, 2008).

Een samenvatting van de structurele oorzaken van geotechnisch falen kan worden onderverdeeld in drie niveaus zoals in figuur 3.6 schematisch is weergegeven. De situatie is verbijzonderd naar de situatie in de bouwsector, verdeeld van de professional, projectorganisatie naar de bouwsector in zijn geheel.



Figuur 3.6: Interactie van diverse niveaus (links; Claridge, 2004; rechts; CUR, 2010)

Micro niveau: professional en techniek

- Foute geotechnische analyses en foute ontwerpkeuzes;
- Onvolledige analyse en ontwerp;
- Onvoldoende robuust ontwerp, waardoor kleine variaties in uitgangspunten en randvoorwaarden relatief grote gevolgen hebben;
- Uitvoering afwijkend van uitgangspunten, randvoorwaarden en veronderstellingen in het ontwerp;
- Monitoring niet voorzien en/of niet benut;
- Geotechnische onzekerheden worden onvoldoende herkend en erkend.

Meso niveau: de projectorganisatie

- Onvoldoende toetsing van het ontwerp en controle tijdens de uitvoering;
- Onvoldoende aandacht voor de effecten van het bouwproject op de fysieke omgeving;
- Onvoldoende coördinatie tussen subsystemen;
- Onvoldoende assertief willen weten wat ze nog niet weten;
- Onvoldoende inzicht in kosten van alen en voordelen van het vermijden van falen;
- Onvoldoende de doelstelling communiceren om falen te reduceren.

Macro niveau: de bouwsector en de externe factoren

- Focus op lage kosten waardoor onvoldoende aandacht voor kwaliteit;
- Opportunisme in besluitvorming: plafondprijs, planning, beperken overlast, procedures boven geotechnisch opgave stellen.

3.3.2.2 Gevolgen geotechnisch falen

De gevolgen van geotechnisch falen in bouwprojecten zijn in principe hetzelfde als de gevolgen van falen, aangezien deze gevolgen altijd weer neer komen op de zes standaard vormen van 'schade', zoals gepresenteerd in de CUR (2010):

- *Planningsoverschrijding:* (Tijd)
- *Directe faalkosten:* (Geld)
- *Omgevingsschade;* (Hinder)
- *Gevolgschade;* (Kwaliteit)
- *Onveiligheid;* (Veiligheid)
- *Imagoschade.* (Reputatie)

3.3.2.3 Beheersmaatregelen geotechnisch falen

In het CUR (2010) rapport "*Leren van geotechnisch falen*" worden door een commissie van experts diverse maatregelen aangedragen, om schadegevallen in een project in omvang en aantal terug te dringen:

Micro niveau: professional en techniek

- Zorg voor een ontwerpteam met relevante ervaring en opleiding;
- Pas controles op het ontwerp toe, gebaseerd op eenvoudige en doorzichtige rekenmodellen;
- Voor second opinions geldt eveneens: juiste team en (naast meer geavanceerde) ook eenvoudige en doorzichtige rekenmodellen;
- Zorg voor een uitvoeringsteam met relevante werkervaring en opleiding;
- Bij wijzigingen van het ontwerp altijd terugkoppeling naar ontwerpers;
- Zorg voor goede communicatie tussen ontwerpers en uitvoerders;
- Maak gebruik van risicoanalyse in het ontwerp, draag de resultaten over aan de uitvoerders, maak gebruik van risicoanalyse voor de bouwfase;
- Maak een project specifiek monitoringsplan, gebruikmakend van de risicoanalyse met go/no go momenten en tijdige gerichte acties als de monitoringgegevens afwijken van de aannames.

Meso niveau: de projectorganisatie

- Organiseer effectieve toetsing van het ontwerp en controle tijdens de uitvoering;
- Zorg voor voldoende aandacht voor de effecten van het bouwproject op de directie fysieke omgeving, zoals belendingen;
- Draag zorg voor coördinatie van de subsystemen van het project (in ontwerpfase, in uitvoeringsfase en tussen beide);
- Neem grondhouding aan van: wat weten we, wat kunnen we te weten komen en wat is onzeker;
- Formuleer projectdoelstellingen m.b.t. geotechniek en communiceer hierover;
- Integreer geotechnisch risicomanagement in project risicomanagement.

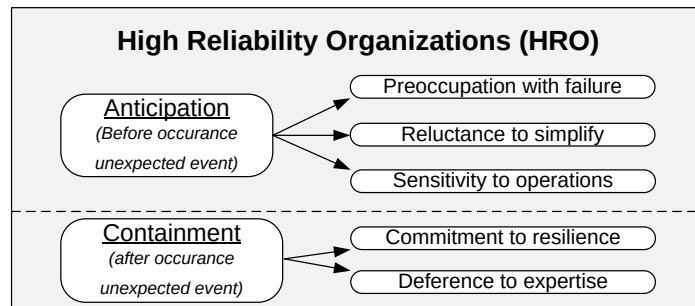
Macro niveau: de bouwsector en de externe factoren

- Leg de focus op kwaliteit en daarbij behorende reële kosten tijd;
- Vermijd opportunistische besluitvorming en maak realistische keuzes.

Deze beheersmaatregelen hebben vooral invloed op *vermijdbaar* geotechnisch falen. *Onvermijdbaar* geotechnisch falen is lastiger te beheersen. Inherente onzekerheid (figuur 3.8) zorgt er hierbij voor dat het niet duidelijk is op basis van welke oorzaken passende beheersmaatregelen bedacht moeten worden. Ondanks deze inherente kennis is beheersing van onvermijdbaar falen niet onmogelijk. Het concept 'High Reliability Organizations' (HRO), van Weick & Sutcliffe (2007) is hier een voorbeeld van.

Risicomanagement gaat doorgaans vaak in op het managen van het *verwachte*. Weick & Sutcliffe (2007) stellen echter dat deze verwachtingen zich kunnen ontwikkelen tot organisatorische *blind spots*, indien men geen rekening houdt met het *onverwachte*. Organisaties zouden zich hier veel bewuster van moeten zijn door het faciliteren van een betere anticipatie (Anticipation) en insluiting (Containment) van onverwachte gebeurtenissen (figuur 3.7). Deze gebeurtenissen zullen hiermee niet voorkomen worden, maar de schadelijke gevolgen kunnen hierdoor wel sterk beperkt worden.

Er zullen daarom altijd risico's blijven bestaan. Bijlage 25 geeft een overzicht van de huidige kennis en begripvorming met betrekking tot *risico's*. De volgende paragraaf zal aan de hand van deze kennis het begrip *geotechnische risico's* verder toelichten.



Figuur 3.7: High Reliability Organizations (HRO)

3.4 Geotechnische risico's bij bouwprojecten

Bijlage 26 geeft een kort intermezzo op het gebied van risico's. Deze paragraaf brengt de kennis op het gebied van geotechnisch falen en risico's samen en brengt deze in verband met de begrippen *kwaliteit*, *falen* en *geotechnisch falen*. Deze samenloop van kennis vormt een breder inzicht in het begrip geotechnisch falen.

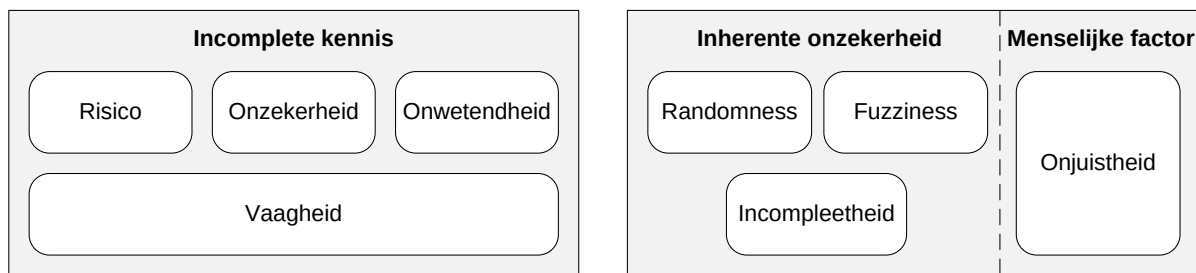
Over geotechnische risico's is direct en indirect al veel onderzoek naar gedaan. Hierbij wordt dit begrip echter nogal eens gebruikt als 'containerbegrip' en verward met geotechnisch falen. Het is daarom belangrijk een duidelijk onderscheid te maken tussen geotechnisch falen en een geotechnisch risico. Voor dit laatste begrip wordt daarom naar een passende definitie gezocht.

3.4.1 Definitie geotechnisch risico

In paragraaf 3.3 is ingegaan op geotechniek en de samenhang met falen (geotechnisch falen). Eenzelfde soort relatie is er tussen geotechniek en risico's; de zogenaamde geotechnische risico's. Voor dit onderzoek is het belangrijke en definitie te bepalen van geotechnische risico's, aangezien het Geo-Impuls programma zich volledig zal focussen op dit geotechnisch falen en –risico. De huidige definities van geotechnische risico's (tabel 3.6) blijken nog (te) weinig concreet voor geotechniek. Een eigen definitie van dit begrip is daarom hard nodig.

Waar het bij *risico* vooral gaat om *bekende* waarschijnlijkheden, gaat het bij onzekerheid vooral om *onbekende* waarschijnlijkheden, uitgedrukt in de vorm van kans of de mate van waarschijnlijkheid. In combinatie met menselijke *onwetendheid* en *vaagheid* van processen vormt dit een problematiek van *incomplete kennis* (zie figuur 3.8). Voor geotechnische risico's geldt hetzelfde. De betrouwbaarheid van bovengrondse constructies (beton, staal) kan echter maar met 85-95% zekerheid worden benaderd. Voor ondergrondse constructies (grond) is dit slechts 50% (Wentink, zoals geciteerd in Van Staveren, 2006). Deze lage mate van zekerheid, ofwel hoge mate van *onzekerheid*, is kenmerkend voor de geotechniek en zorgt er voor dat het moeilijker en duurder is om op dit gebied precies aan de klantverwachtingen te voldoen. Al zijn de feitelijke *risico's* in vergelijking tussen onder- en bovengrondse constructies niet wezenlijk verschillend.

Om deze hele problematiek aan te pakken is risicomanagement in feite dus niet volledig toereikend. Zo spreekt Pender (2001) liever van *management van incomplete kennis* (figuur 3.8). Blockley & Godfrey (2000) onderkennen soortgelijke factoren van incomplete kennis, maar maken duidelijk onderscheid tussen menselijke onwetendheid en inherente onzekerheid. In overeenstemming met Van Staveren (2006) spreekt dit onderzoek liever van *het managen van verwachtingen*, aangezien volgens dit onderzoek de klant in deze processen altijd centraal dient te staan.



Figuur 3.8: Incomplete kennis (Pender, 2001)(Links). Inherente onzekerheid (Blockley & Godfrey, 2000)(Rechts)

Incomplete kennis wordt dus vaak veroorzaakt door gebrekkige- of onbetrouwbare informatie. Van Staveren (2010a) omschrijft op basis hiervan inherente onzekerheid als de som van de volgende vier factoren:

- *Randomness*: te vertalen als willekeur of het ontbreken van patronen in geotechnische informatie; ondanks beschikbare geologische kennis lijkt op veel projectlocaties de ondergrond met een forste mate van willekeur (random) opgebouwd.
- *Fuzziness*: ontbreken van eenduidigheid van geotechnische informatie; in de praktijk worden nogal vaak verschillende interpretaties gegeven aan grondeigenschappen. Er dient dus beter, op een eenduidig vastgelegde werkwijze (bijv. met getallen) gecommuniceerd te worden. Er zijn teveel verschillende methodieken, hetgeen resulteert in verschillende interpretaties.
- *Incompleetheid*: te weinig geotechnische informatie; is een algemeen probleem voor geotechnici. Grondonderzoek geeft inzicht in een fractie van het volume ondergrond, en geeft niet altijd een betrouwbaar beeld.
- *Onjuistheid*: feitelijk foute geotechnische informatie. De bouwsector is mensenwerk, mensen maken fouten, zover staat vast. Kwaliteitssystemen zouden deze bron van fouten fors kunnen reduceren.

Deze vier componenten van incomplete kennis of inherente onzekerheid veroorzaken geotechnische risico's, met mogelijk geotechnisch falen als gevolg. Dit geotechnische risico heeft dus mogelijk ergens *impact* op. Geotechniek in de bouwsector speelt zich voornamelijk af in projecten. Evenals bij de definitie van projectrisico, wordt gebruik gemaakt van de definitie volgens NEN-ISO 31000 (2009): "risico is het effect van onzekerheid op het behalen van doelstellingen". Deze definitie geeft weer *waarop* een risico een negatieve impact heeft, namelijk op het behalen van projectdoelstellingen. Zoals eerder benadrukt bij het begrip risico, speelt de beïnvloedbaarheid een belangrijke rol bij de beschrijving van het begrip projectrisico. Het gaat hier om de beïnvloedbaarheid van een activiteit of situatie binnen een project waaruit een risico kan ontstaan en om de beïnvloedbaarheid van het gevolg van optreden van het risico, ervan uitgaande dat de invloed ook daadwerkelijk wordt uitgeoefend. Hoe meer beïnvloedbaar, hoe lager het risico. Hoe minder beïnvloedbaar, hoe groter het risico. Nu de componenten van geotechniek en risico zijn vastgesteld en een afbakening is gegeven van het begrip, kan een definitie voor geotechnisch risico worden gegeven. In lijn met de definiëring van geotechnisch falen ten opzichte van falen, is er voor gekozen om slechts een klein nuanceverschil te hanteren tussen geotechnische risico's en (normale) risico's. De ondergrond blijft hierbij de belangrijkste factor van verschil:

Geotechnisch risico:

Negatief effect van bekende en onbekende onzekerheden van de ondergrond op het behalen van doelstellingen.

3.4.2 Geotechnische risico's bij bouwprojecten

Geotechniek wordt vaak toegepast bij bouwprojecten. Geotechnische risico's en bouwprojecten zijn daarom onlosmakelijk met elkaar verbonden. Geotechnisch falen is echter altijd het schadelijke gevolg van geotechnisch risico (figuur 3.7). Deze risico's uiteten zich vaak in termen van (zie ook gevolgen van falen en geotechnisch falen:

- Geld (financieel)
- Hinder (voor directe omgeving)
- Kwaliteit (van het gerealiseerd object)
- Veiligheid (voor personeel en directe omgeving)
- Reputatie (voor directe stakeholders project)
- Tijd (vertragingen)

Geotechnische risico's uit zich dus op dezelfde vlakken als geotechnisch falen. Deze risico's leiden echter lang niet altijd tot falen. Ze kunnen bijvoorbeeld ook beperkt blijven tot een blootstelling, zonder daadwerkelijk schadelijk gevolg. Deze zogenaamde 'near-misses' (net-geen-ongelukken) vallen in de regel niet onder geotechnisch falen. Dit wil echter niet zeggen dat deze geotechnische risico's niet zichtbaar zijn. Ook van deze near-misses kan belangrijke lering getrokken worden bij toekomstige projecten.

3.5 Geotechnische falen bij Nederlandse bouwprojecten

In de vorige paragrafen is, zowel vanuit het kwaliteits- als risicoperspectief, duidelijk geworden dat *geotechnisch falen* een begrip is waarbij veel discussie mogelijk is. Daarnaast bleek er nog nauwelijks een definitie te zijn geformuleerd specifiek voor dit geotechnische aspect van falen en faalkosten. Om onduidelijkheid als gevolg van deze discussies te voorkomen wordt daarom de volgende, volledige definitie gepresenteerd van geotechnisch falen:

Definitie van geotechnisch falen, volgens dit onderzoek:

"Het niet doeltreffend en doelmatig leveren van de boogde kwaliteit bij het realiseren van een bouwproject in of op de grond, met grondgerelateerde faalkosten als gevolg."

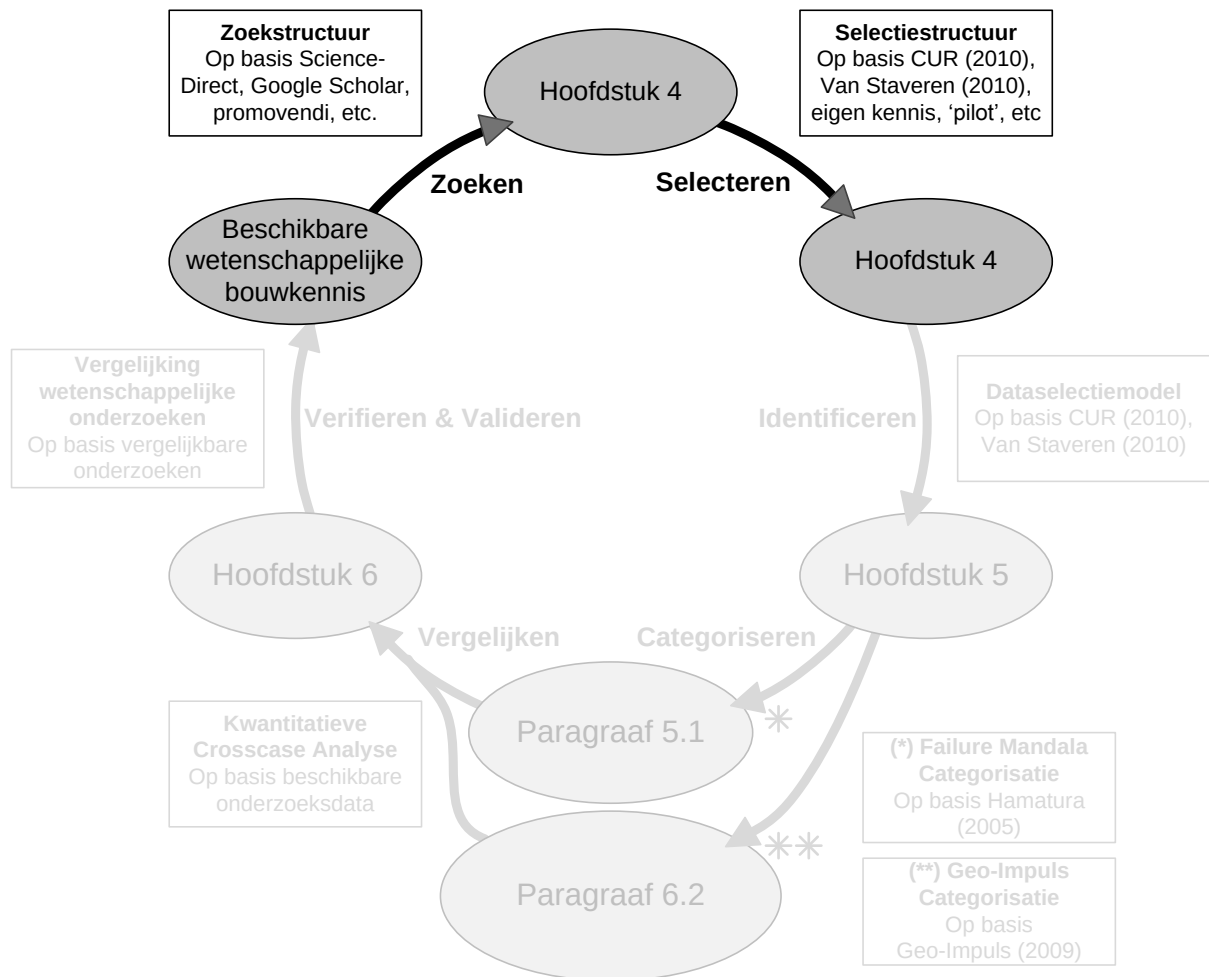
Ad 1: *kwaliteit* wordt gezien als de mate van tegemoetkoming aan- en/of overtreffing van de klantverwachtingen bij bouwprojecten op het gebied van bruikbaarheid, veiligheid, duurzaamheid en compatibiliteit van een ontworpen oplossing, opdat meerwaarde voor de klant en eindgebruiker wordt gecreëerd.

Ad 2: *faalkosten* wordt gezien als alle directe en indirecte schade als gevolg van falen die voorkomen had kunnen worden wanneer de kwaliteit van het gerealiseerde bouwproject doeltreffend en doelmatig zou zijn geleverd.

Ad 3: *schade* wordt hierbij gezien als alle negatieve afwijkingen ten opzichte van de verwachtingen op het gebied van tijd, geld, hinder, kwaliteit, veiligheid en reputatie.

Het *kwaliteitsperspectief* blijkt de meeste invloed te hebben op de vormgeving van het begrip geotechnisch falen. Deze vorm van falen beslaat namelijk het grootste deel van het bekendere begrip faalkosten. Het vormt hiermee het belangrijkste maar meest ongrijpbare deel van al het falen bij projecten. Het *risicoperspectief* geeft een interessant extra inzicht in geotechnisch falen, door nadrukkelijk de menselijke factor als oorzaak van dit falen te onderzoeken. Voor ondergrondse projecten is de hoeveelheid incomplete kennis relatief groot (figuur 3.8). Vooral de menselijke onwetendheid (bewust en onbewust) is nog aanzienlijk als het gaat om het identificeren van sedimentaire karakters en eigenschappen. De samenstelling en eigenschappen van de ondergrond blijven in bepaalde mate altijd onzeker, onafhankelijk van kennis en grondonderzoek. Deze inherente onzekerheid wordt bepaald door *fuzzyness*, *randomness* en *incompleteness* (Van Staveren, 2010a)

Dit maakt duidelijk dat het volledig voorkomen van schadelijke gevolgen als gevolg van deze geotechnische risico's onmogelijk is. Naast dat er altijd sprake zal blijven van een inherente onzekerheid van de ondergrond zullen er altijd menselijke fouten blijven ontstaan, bijvoorbeeld door onvoldoende rekening te houden met deze inherente onzekerheid. Het beheersen van deze schade is daarom niet snel te verhelpen met de introductie van nieuwe technieken en technologieën. Het begint bij het verzamelen en beheren van bestaande kennis van geotechnische schadegevallen, zodat deze toegankelijk en begrijpelijk wordt voor iedereen die met soortgelijke projecten bezig is. Dit onderzoek is daarom gericht op het vullen van deze leemte, door literatuuronderzoek te doen naar de oorzaken en beheersmaatregelen van *geotechnisch falen*. *Geotechnische risico's* zijn hierbij minder van belang, aangezien deze onderhevig zijn aan perceptie en dus erg subjectief kunnen zijn. Op het gebied van geotechnische risico's en risicoperceptie loopt daarnaast al een ander onderzoek, uitgevoerd door de Universiteit Twente (Ronhaar, 2011).



4 Onderzoekstechnisch ontwerp

Dit hoofdstuk behandelt het daadwerkelijke ontwerp van dit onderzoek, ook wel het technisch ontwerp van het onderzoek genoemd (Verschuren & Doorewaard, 2007). Het onderzoekstechnisch ontwerp vormt hiermee de belangrijkste schakel tussen de in hoofdstuk 3 beschreven onderzoekoptiek (theorie) en de in hoofdstuk 5 beschreven onderzoeksresultaten (praktijk). Hiermee tracht dit hoofdstuk tevens op logische wijze een antwoord te vinden op **deelvraag 2**:

Welke wetenschappelijke cases voldoen aan de in deelvraag 1 beschreven kenmerken?

Voor het zoeken en selecteren van geschikte cases wordt allereerst het belang van wetenschappelijke criteria vastgesteld (paragraaf 4.1). Vervolgens worden de gehanteerde zoekstructuur (paragraaf 4.2) en selectiestructuur (paragraaf 4.3) toegelicht. Tot slot zullen de resultaten geverifieerd en gevalideerd worden.

4.1 Wetenschappelijke criteria

Voordat een begin wordt gemaakt aan het zoeken van wetenschappelijke cases, moet eerst duidelijk worden wat dit onderzoek precies ziet als 'wetenschappelijk'. Hiermee beantwoordt deze paragraaf **subvraag 2.1**:

Welke criteria zijn er voor wetenschappelijke cases?

Wetenschappelijke cases zijn in dit geval projectcases, beschreven in of door een wetenschappelijk medium. Vaak betreft dit vakbladen, zoals *Engineering Failure Analysis*, *Journal of Geotechnical Engineering*, *Engineering Geology*, etc. Soms zijn dit echter rapporten of artikelen van conferenties, zoals de *4th Asian Regional Conference on Geosynthetics*, *6th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*, *Malaysian Geotechnical Conference* etc. Tevens zijn er enkele wetenschappelijk databases gevonden met beschrijvingen van (geotechnisch) gefaalde bouwprojecten, zoals bijvoorbeeld de *Failure Knowledge Database* (*Japan Science and Technology Agency*).

Veel van deze media bevatten meerdere uitvoerige beschrijvingen en analyses van geotechnisch gefaalde bouwprojecten. Deze informatie mag als betrouwbaar gezien worden, aangezien de wetenschappelijke waarde van deze case artikelen vaak beoordeeld door meerdere (onafhankelijke) wetenschappers en/of technici. Voor het verkrijgen van zo betrouwbaar mogelijke onderzoeksresultaten worden daarom alleen dit soort wetenschappelijke cases gekozen als input.

4.2 Gebruikte zoekstructuur

Deze paragraaf gaat in op het structureren van het zoekproces naar bruikbare wetenschappelijke case artikelen. Deze structuur is gebaseerd op verschillende richtlijnen en criteria. Hiermee beantwoordt deze paragraaf **subvraag 2.2**:

Welke criteria zijn er voor het zoeken van wetenschappelijke cases?

Deze criteria zijn belangrijk aangezien slechts een beperkt deel van alle beschikbare internationale case artikelen bruikbaar zijn voor dit onderzoek. Duidelijke zoek- en selectiestructuren zijn daarom gehanteerd voor het vinden van geschikte cases. Zo wordt uiteindelijk alleen de informatie gebruikt die voor de Nederlandse situatie interessant is. Als uitgangspunt voor deze structuren zijn daarom de geologische kenmerken van Deltagebieden gekozen (paragraaf 4.2.1). Op basis van dit uitgangspunt zijn vervolgens de (richtlijnen voor) de zoekstructuur opgesteld (paragraaf 4.2.2).

4.2.1 Deltagebieden als uitgangspunt

Deltagebieden zijn gebieden op de grens tussen land en zee, met slappe lagen van sedimentaire afzettingen waarop het lastig bouwen is (DeltaNeth, 2011). Rijkswaterstaat (2011) benadrukt daarnaast de samenhang van zoet en zout water in Deltagebieden, waarmee ook de rivierenstelsels hun omliggende gebieden tot dit soort gebieden gerekend kunnen worden. Nog een belangrijke samenhang bestaat er tussen stilstaand water en water dat onder invloed staat van eb en vloed (Rijkswaterstaat, 2011). Meren en andere grote binnenlandse wateren kunnen hierdoor ook nog eens onder Deltagebieden vallen. In tegenstelling tot wat vaak wordt gedacht, vallen dus niet alleen de Zeeuwse wateren en eilanden onder de noemer Deltagebieden. Half Nederland zou gekenmerkt kunnen worden als Deltagebied (figuur 4.1).



Figuur 4.1: Deltagebieden in Nederland

(Deltacommissie, 2008)

De *primaire kenmerken* van Deltagebieden zijn daarom als volgt gekozen:

- ✓ Slappe gronden;
- ✓ Hoge grondwaterstanden;
- ✓ Grote overstromingskansen.

Deze primaire kenmerken hoeven niet meteen voor problemen te zorgen bij de realisatie van bouwprojecten. Voor niet tot weinig bebouwde grond zijn de effecten van deze bouwprojecten op de onderliggende grond nog redelijk goed in te schatten. Dit gaat niet meer op voor (hoog)stedelijke gebieden, waar de grond al onder invloed staat van andere gebouwde objecten en vol ligt met (ondergrondse) infrastructuur. Het zou daarom bijzonder interessant zijn als er ook cases gevonden worden met de volgende, *secundaire kenmerken* (van stedelijke gebieden in Deltagebieden):

- ✓ Aanwezigheid van (ondergrondse) infrastructuur;
- ✓ Aanwezigheid van (oude en/of naastgelegen) funderingen;
- ✓ Aanwezigheid van vervuilde grond.

De primaire kenmerken zijn leidinggevend voor de zoekstructuur. De secundaire kenmerken kunnen worden gebruikt om de onderzoeksresultaten verder te prioriteren. Welke invloed deze keuzes hebben gehad op de gekozen zoekstructuur zal in de volgende paragraaf worden behandeld.

4.2.2 Zoekstructuur als richtlijn

De volgende onderzoeksstap betrof het vinden van voldoende, geschikte case literatuur. Hiervoor is gezocht in verschillende databases, waaronder ScienceDirect en Google Scholar. Binnen deze digitale databases is een pilot uitgevoerd met de zoekterm 'geotechnical failure', om te zien welke aantallen en kwaliteit gepubliceerde geotechnisch gefaalde cases dit opleverde. Hieruit bleek dat vooral de volgende *primaire tijdschriften* bijzonder interessant waren voor het zoeken naar dit soort cases:

- ✓ Engineering Failure Analysis
- ✓ Engineering Geology
- ✓ Engineering Structures
- ✓ Geotextiles and Geomembranes
- ✓ The Electronic Journal of Geotechnical Engineering
- ✓ International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts
- ✓ International Journal of Impact Engineering
- ✓ Tunnelling and Underground Space Technology

De resultaten van deze pilot zijn voorgehouden aan enkele experts op het gebied van faalkosten en risicomanagement van de Universiteit Twente. Deze stelden voor om ook nog enkele andere tijdschriften te onderwerpen aan het zoekproces. Deze *secundaire tijdschriften* zijn:

- ✓ Journal of Construction Engineering and Management
- ✓ Construction Management & Economics
- ✓ International Journal of Quality and Reliability Management
- ✓ Geotechnical News

Binnen deze complete lijst met primaire en secundaire tijdschriften is vervolgens via de eerder genoemde databases gezocht naar cases volgens een vooraf vastgestelde lijst met *primaire, secundaire en tertiaire zoektermen* (tabel 4.1). Deze zoektermen zijn vastgesteld op basis van de resultaten uit de pilot, een eigen brainstormsessie en aanwijzingen van enkele experts, waaronder promovendi van de Universiteit Twente.

Tabel 4.1: Zoektermen voor selectie cases

Primaire zoektermen:
<i>Minimaal 1 term aanwezig bij iedere zoekopdracht</i>
Secundaire zoektermen:
<i>1 tot 2 termen aanwezig bij iedere zoekopdracht, om zo resultaten van primaire zoektermen in te kaderen en een gelijkmatige afspiegeling van resultaten te verkrijgen</i>
Tertiaire zoektermen:
<i>Maximaal 1 term aanwezig bij iedere zoekopdracht, om zo waar nodig resultaten van primaire + secundaire zoektermen nog verder in te kaderen en de kwaliteit van de resultaten te waarborgen</i>

<i>Primair</i>	<i>Secundair</i>	<i>Tertiair</i>
<i>Failure Disputes</i>	<i>Geotechnical Foundation Dam Retaining wall Sheetpile Slope Soil Landfill Tunnel Harbour wall</i>	<i>Forensic (analysis) Back (analysis) Lessons learned Cause Analysis</i>

Het zoekproces is in eerste instantie strikt uitgevoerd volgens deze ontworpen structuur. Dit leverde circa 40 *bruikbare* (paragraaf 4.3.1) cases op. Dit aantal werd nog niet als voldoende beschouwd voor dit onderzoek. In tweede instantie is de zoekstructuur daarom als *richtlijn* gebruikt, waarna nog eens circa 25 bruikbare cases zijn gevonden. Ook minder gereviewde journals, zoals vakbladen, zijn onderzocht met de zoekstructuur. Voorbeelden van deze media zijn nieuwsartikelen van New Civil Engineer (NCE) en rapporten van particuliere forensische onderzoeksbureaus. Het aantal beschikbare, bruikbare documenten liet hierbij echter te wensen over. De betrouwbaarheid van de resultaten was daarnaast moeilijk in te schatten. Om die reden is gekozen deze zoekresultaten verder niet mee te nemen.

De vastgestelde zoekstructuur bleek dus een aardige richtlijn. De geschiktheid van de cases in de lange lijsten met zoekresultaten was echter grillig. Er bleken weinig uniforme termen te worden gebruikt in de documenten waarnaar gezocht werd, terwijl in veel gevallen dezelfde soort faal-analyse (forensic- & back analysis) is uitgevoerd. Welke gevolgen dit heeft gehad voor de structurering van de geschiktheidsselectie zal in de volgende paragraaf worden behandeld.

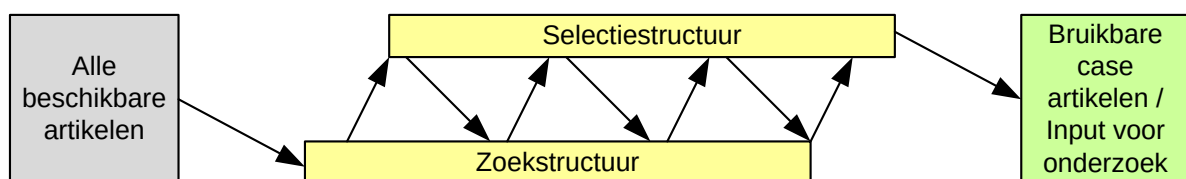
4.3 Gebruikte selectiestructuur

Deze paragraaf gaat in op het structureren van het selectieproces van bruikbare wetenschappelijke case artikelen. Deze structuur is, net als de zoekstructuur in paragraaf 4.2, gebaseerd op verschillende richtlijnen en criteria. Hiermee beantwoordt deze paragraaf **subvraag 2.3**:

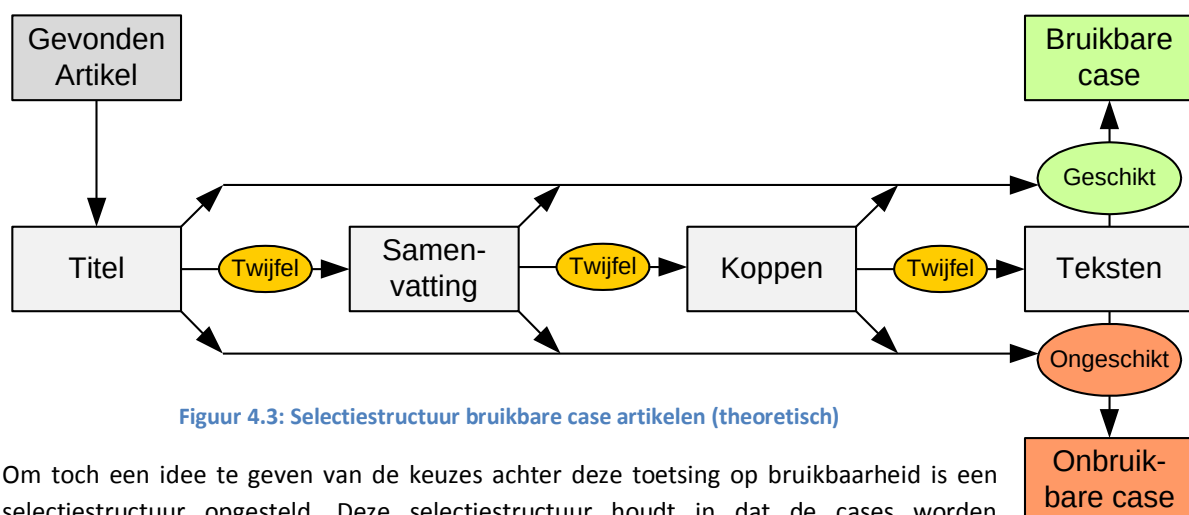
Welke criteria zijn er voor de bruikbaarheid van wetenschappelijke cases?

4.3.1 Selectiestructuur

Zoals in paragraaf 4.2 duidelijk werd, bleek het zoekproces grillige maar bruikbare resultaten op te leveren. De toetsing van case artikelen op bruikbaarheid voor dit onderzoek is vrijwel gelijk met de uitvoering van het zoekproces uitgevoerd. Dit aangezien de selectie van bruikbare artikelen in de praktijk moeilijk los te koppelen is van het gericht zoeken van artikelen (figuur 4.2).



Figuur 4.2: Zoek- & Selectieproces in de praktijk



Figuur 4.3: Selectiestructuur bruikbare case artikelen (theoretisch)

Om toch een idee te geven van de keuzes achter deze toetsing op bruikbaarheid is een selectiestructuur opgesteld. Deze selectiestructuur houdt in dat de cases worden geselecteerd op basis van informatie die in de inhoud wordt genoemd. Om deze inhoud zo snel mogelijk te scannen op bruikbare informatie (bruikbaarheid) is eerst gekeken naar de titel, vervolgens naar de samenvatting, daarna naar de artikelkoppen en tenslotte de teksten. Indien één van deze zaken geen uitsluit, maar twijfel over de geschiktheid gaf, werd besloten het artikel dieper te analyseren. Hierbij zijn de gevonden artikelen gescand op aanwezigheid van de volgende informatie:

- ✓ In het artikel worden één of meerdere case projecten specifiek geanalyseerd;
- ✓ In het artikel is één of meerdere van de vooraf vastgestelde zoektermen aanwezig (tabel 4.1)
- ✓ In het artikel is een project(situatie) beschreven zoals deze (deels) ook Nederland kan plaats vinden:
 - Het case project zou **fysiek** in Nederland plaats moeten kunnen vinden; (Voorbeelden: bouw van lage (kist)dammen, dijken, etc.)
 - Het case project zou **geografisch** in Nederland plaats moeten kunnen vinden; (Voorbeelden: bouwen in Deltagebied-achtige gebieden, vlakke gronden, etc.)

Vooraf het laatste beoordelingspunt, wat onderverdeeld kan worden in een fysieke en geografische beoordeling, is erg belangrijk geweest voor de toetsing van bruikbaarheid van de cases.

Tegelijkertijd is dit het meest subjectieve beoordelingspunt, aangezien de zoektermen lang niet altijd uitsluitend geven over de inhoud van het artikel. Deze beoordeling is uitgevoerd op basis van ervaring door de auteur van dit onderzoek. De ontworpen selectiestructuur moet daarom worden gezien als richtlijn, in plaats van een bindende structuur voor het selectieproces. Zo bleken er bijvoorbeeld nadere analyses nodig van artikelen, waarbij de inhoud niet bruikbaar bleek voor dit onderzoek terwijl de titel en/of samenvatting dit wel deden vermoeden. Andersom was ook vaak het geval. Bleek een titel en/of samenvatting in eerste instantie helemaal niet bruikbaar, nadere analyse van de inhoud bleek het artikel wel degelijk bruikbaar te maken.

4.3.2 Rubricering van oorzaken en beheersmaatregelen

De volgende onderzoeksstap is het extraheren van belangrijkste oorzaken en beheersmaatregelen van geotechnisch falen uit de artikelen. Hierbij gaat het om het identificeren van alle aspecten die een oorzakelijk verband hebben met de schade (CUR, 2010). Deze verbanden kunnen eveneens mogelijke beheersmaatregelen identificeren, of verklaren waarom deze juist wel of niet hebben gewerkt bij de beheersing van geotechnisch falen.

Het identificeren van deze verbanden wordt in deze paragraaf ook wel rubricering genoemd, aangezien het de identificatie en de indeling van gegevens verderop in het onderzoek kan vergemakkelijken. De rubricering van de oorzaken en beheersmaatregelen van geotechnisch falen is op eenzelfde manier ontworpen als de CUR in haar rapport 'Leren van geotechnisch falen' heeft gedaan (CUR, 2010). Hierbij staan voor iedere afzonderlijke case de volgende vragen centraal:

- Wat is er gebeurd?
- Hoe is dat gebeurd?
- Waarom is dat gebeurd?

Bij de beantwoording van deze laatste vraag wordt gebruik gemaakt van de drie niveaus, met in totaal vijf rubrieken (zie ook paragraaf 3.3.2.1):

- | | |
|-------------------|--|
| • Het microniveau | Geotechnisch falen als gevolg van <i>professionals</i> en/of de <i>geotechniek</i> |
| • Het mesoniveau | Geotechnisch falen als gevolg van de <i>organisatie</i> |
| • Het macroniveau | Geotechnisch falen als gevolg van de <i>bouwsector</i> en/of <i>externe factoren</i> |

Deze rubrieken zijn door de CUR (2010) ingedeeld op basis van een combinatie van classificaties van Van Duin (2005), Shrivastava *et al.* (1988) en Van Staveren (2006, 2009) en zijn nauwkeurig gedefinieerd in bijlage 3. Ze zijn echter niet onafhankelijk van elkaar. Een projectorganisatie kan, door passende maatregelen, falen ten gevolge van oorzaken op het niveau van de professional voorkomen of de gevolgen beperken door bijvoorbeeld controlemaatregelen. De bouwsector kan bijvoorbeeld door kennisoverdracht en aanpassingen van de cultuur in de sector invloed uitoefenen op toekomstige in te richten projectorganisaties (CUR, 2010).

Voor de identificatie van de belangrijkste oorzaken en beheersmaatregelen van geotechnisch falen in de artikelen is daarom gekozen zo min mogelijk eigen interpretatie toe te passen. Door foutieve interpretaties van de artikelinhoud bestaat de kans dat er verkeerde verbanden worden ontwikkeld. Er is getracht zo veel mogelijk de letterlijke tekst en uitleg van de artikelen te selecteren voor dit onderzoek. Om die reden is er gekozen voor het gebruik van een gestructureerd dataselectie model.

4.3.3 Dataselectie model

Het dataselectie model vormt, samen met de rubricering van de oorzaken en beheersmaatregelen, de belangrijkste stap bij de analyse van iedere afzonderlijke case. De rubriceringsstap is hierbij slechts een onderdeel van het totale dataselectie model. Alle andere belangrijke case gegevens worden geïdentificeerd met de rest van het dataselectie model. Voorbeelden van dit soort gegevens zijn typen constructies, incidenten, opdrachtgevers, opdrachtnemers en effecten (zie bijlage 5).

Voor het ontwikkelen van dit dataselectie model is gebruik gemaakt van elementen uit de structuur van de Incidentenanalyse 2010 (Van Staveren, 2010b). Waar de Incidentenanalyse zich echter richt op specifieke geotechnische incidenten richt dit onderzoek zich op de (eventuele verzameling van) geotechnische incidenten; nader genoemd als het geotechnisch falen van een project.

Zaken als geografische ligging en type constructie waren vaak gemakkelijk af te leiden uit de tekst. Het type incident was al wat lastiger te achterhalen, aangezien deze typen soms aan elkaar gerelateerd zijn. Zo kan lekkage tot deformaties leiden, wat uiteindelijk tot bezwijken kan leiden.

De indeling van de geregistreerde incidenten is zodanig gekozen dat het incident is ingedeeld naar het type geotechnisch incident waarmee in het case document de meest directe relatie is gelegd (Van Staveren, 2010b). Het type opdrachtgever en opdrachtnemer (ontwerpers en bouwers) bleek vervolgens niet altijd duidelijk, aangezien de case artikelen in veel gevallen waarschijnlijk strikt objectief willen blijven. In dit soort documenten worden alleen feitelijke gebeurtenissen en kenmerken genoemd, in plaats van handelingen en schuldvragen. Indien deze gegevens wel genoemd worden, kunnen ze erg belangrijk zijn voor het beoordelen van de representativiteit en betrouwbaarheid van de gegevens.

De oorzaken en beheersmaatregelen van het geotechnisch falen zijn vaak vrij duidelijk genoemd en/of opgesomd. Vaak worden er meerdere oorzaken genoemd, welke in sommige gevallen weer onderdeel zijn van een abstracter genoemde oorzaak. De indeling van de geregistreerde oorzaken en beheersmaatregelen is daarom zodanig gekozen dat deze *hierarchische overlap* zoveel mogelijk voorkomen wordt.

De effecten van het geotechnisch falen zijn vaak minder duidelijk genoemd in de artikelen en worden meer terloops genoemd. De ernst van deze effecten bleek echter wel makkelijker te classificeren, door het gebruik van verschillende wegingsfactoren (tabel 5.3). Deze informatie geeft hiermee indirect ook een betrouwbaar beeld van de ernst en betrouwbaarheid van de oorzaken van geotechnisch falen.

4.4 Verificatie & Validatie

Deze laatste paragraaf gaat in op de uiteindelijke lijst met geschikte wetenschappelijke case artikelen. Hiermee beantwoordt deze paragraaf **subvraag 2.4**:

Welke wetenschappelijke cases zijn geschikt voor dit onderzoek?

4.4.1 Geschikte wetenschappelijke artikelen

De onderwerping van de in paragraaf 4.2.2 geselecteerde wetenschappelijke media aan de in paragraaf 4.2 en 4.3 ontworpen zoek- en selectiestructuren resulteerde in een verzameling van 70 verschillende bruikbare wetenschappelijke cases. Deze cases worden beschreven in 50 verschillende artikelen. Sommige artikelen beschrijven meerdere cases. Andere artikelen beschrijven dezelfde cases, vanuit een ander standpunt.

Onderwerping van deze artikelen aan het dataselectie model had als resultaat dat alsnog een aantal artikelen ongeschikt bleek. Zo bleven enkele artikelen bijvoorbeeld hangen in zeer geotechnische beschrijvingen of benoemden ze geen concrete oorzaken. Hierdoor bleven 42 geschikte artikelen over, welke in totaal 63 cases beschrijven (zie bijlage 4).

De artikelen hebben elk een artikelnummer, case nummer en volgnummer gekregen (figuur 5.3). Hierdoor heeft elke case zijn eigen unieke nummer en zijn alle uiteindelijke resultaten te herleiden op deze basisgegevens. Deze nummering zorgt er tevens voor dat het duidelijk zichtbaar wordt dat sommige artikelen meerdere cases beschrijven (verschillende case nummers, zelfde artikel nummers) en sommige cases in meerdere artikelen beschreven worden (verschillende artikel nummers, zelfde case nummers).

Behalve de overige standaardgegevens van wetenschappelijk artikelen (jaartal, titel, auteur, medium, editienummer, nummer, pagina's & publiceerder) is ook alvast de datum van het geotechnisch falen vastgelegd. Zo vindt het oudste in dit onderzoek gebruikte geotechnische incident plaats in 1913 (Transcona Grain Elevator). Het meest recente incident dateert van 2007 (Prat Kade Barcelona). Een tijdsspanne van 94 jaar.

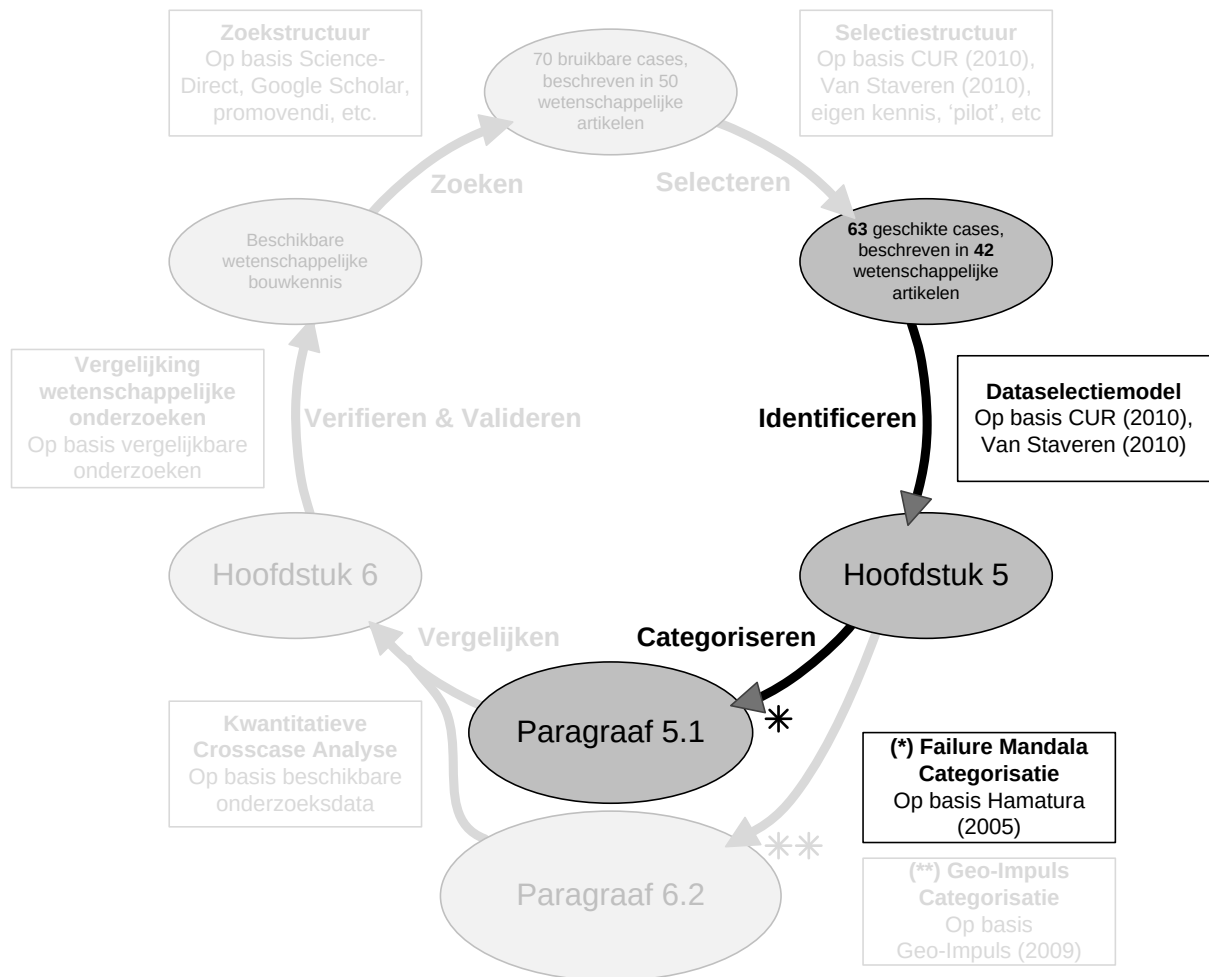
De resultaten van de onderzoeken naar de oorzaken van deze geotechnische incidenten verschijnen vaak pas jaren later, waardoor een vertekend beeld kan ontstaan. De oudste publicatie dateert namelijk van 1981. De recentste uit 2011. Een tijdsspanne van slechts 30 jaar.

4.4.2 Verificatie

Veruit de meeste bruikbare artikelen zijn met de ontworpen zoek- en selectiestructuur geselecteerd voor onderwerping aan het dataselectie model. Slechts enkele (+/- 5) artikelen zijn niet met deze structuren gevonden en geselecteerd. Zonder uitzonderingen is alle input voor dit onderzoek verder verkregen volgens het dataselectie model. Deze informatie is hiermee geverifieerd en op de juiste manier geselecteerd.

4.4.3 Validatie

Selectie van de juiste case artikelen en hieruit volgende informatie is erg arbeidsintensief geweest en bleek soms lastig te structureren. De expertkennis van de auteur vormde vaak het eindoordeel over de geschiktheid van de case informatie. Dit gehele proces is inzichtelijk gemaakt en heeft geleid tot een lijst met 63 verschillende cases. Dit is minder dan het beoogde aantal van 100 cases, maar is gezien de beschikbare tijd, kennis en middelen het maximaal haalbare geweest voor dit onderzoek. Dit aantal cases mag echter als valide input worden gezien voor het beoogde onderzoeksdoel.



5 Onderzoeksresultaten

In het vorige hoofdstuk zijn de ontwerpen van de analysestructuren inzichtelijk gemaakt. Dit hoofdstuk behandelt de resultaten van deze analyses. Als eerste worden daarom de in de wetenschappelijke cases geïdentificeerde oorzaken van geotechnisch falen behandeld (paragraaf 5.1). Deze oorzaken bleken het meest interessant en betrouwbaar voor het vervolg van dit onderzoek. De gevolgen (paragraaf 5.2) en beheersmaatregelen (paragraaf 5.3) van geotechnisch falen bleken namelijk veel minder vaak en minder duidelijk genoemd te worden in de wetenschappelijke cases. De laatste paragraaf zal terugblikken op dit hoofdstuk middels verificatie en validatie van de resultaten.

5.1 Oorzaken van geotechnisch falen

Deze paragraaf gaat in op de resultaten van de identificatie van oorzaken van geotechnisch falen uit de lijst met geschikte wetenschappelijke cases. Hiermee beantwoordt deze paragraaf **deelvraag 3**:

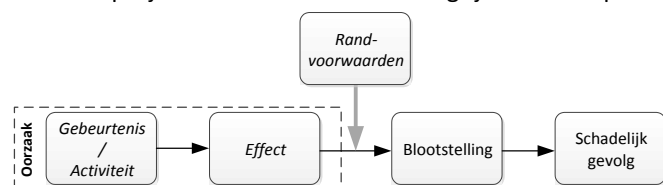
Welke oorzaken van geotechnisch falen worden beschreven in de in deelvraag 2 geselecteerde cases?

5.1.1 Oorzaken van geotechnisch falen

Er zullen weinig situaties zijn waarin falen simpelweg één heldere en duidelijke oorzaak heeft. Er zijn minstens zoveel verschillende oorzaken die er kunnen spelen bij falen als verschillende effecten (schade) die er kan optreden als gevolg van falen bij projecten. Om oorzaken van falen te kunnen identificeren in wetenschappelijke cases moet dus bekend zijn op welke manier deze oorzaken vaak omschreven worden. De cases houden immers nog geen rekening met de in hoofdstuk 3 vastgestelde definities. Hiermee beantwoordt deze paragraaf **deelvraag 3.1**:

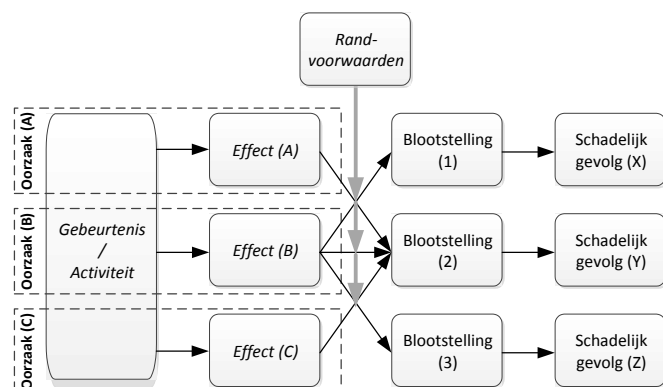
Op welke manier kunnen ‘oorzaken van geotechnisch falen’ omschreven worden?

Oorzaken van falen staan nooit op zichzelf. Ze worden altijd voorafgegaan aan een keten van gebeurtenissen of activiteiten met een bepaald effect. Halman (1994) introduceerde hiervoor de ‘risicoketen’ (zie bijlage 26). Uit dit onderzoek bleken de randvoorwaarden van een project echter ook een belangrijke rol te spelen. Praktisch dezelfde risicoketen bleek in meerdere cases (onder verschillende randvoorwaarden) verschillende soorten schadelijk gevolgen te vormen. Figuur 5.1 laat dit schematisch zien.



Figuur 5.1: Risicoketen onder invloed van randvoorwaarden

Uit de cases bleek eveneens vaak één gebeurtenis of activiteit te worden genoemd als ‘trigger’ van het falen, waarna deze onder invloed van de randvoorwaarden van het project verschillende effecten, blootstellingen en schadelijke gevolgen ontketende. In de praktijk bleken deze oorzaken dan ook nog eens onderling verschillende blootstellingen te genereren. Figuur 5.2 geeft een beeld van deze complexe praktijksituatie.



Figuur 5.2: Risicoketen onder invloed van randvoorwaarden in de praktijk

Deze triggers mogen dan geen structurele oorzaak van falen zijn, ze zijn wel degelijk belangrijk om te identificeren. Als ‘druppel die de emmer doet overlopen’ maakt dit het identificeren van de structurelere

oorzaken makkelijker. Zo is het bijvoorbeeld duidelijk geworden dat veel projecten onvoldoende rekening hebben gehouden met zware regenval. Onderdimensionering, ontoereikende veiligheidsvoorschriften, onduidelijke verantwoordelijkheden, etc. Dit soort structurele oorzaken van falen wordt op deze manier ineens allemaal duidelijk. De omschrijving van falen waarnaar in de teksten van wetenschappelijke cases dus telkens is gezocht betreft daarom vaak *'afwijkingen van verwachtingspatronen van de betrokken professionals, projectorganisaties en bouwsector'*.

Hoe vaker dergelijke afwijkingen van verwachtingen voorkomen, hoe structureler de oorzaken van falen zijn. Ook al hebben ze bij de betreffende case nog niet duidelijk geleid tot falen. Voor het identificeren van oorzaken van *geotechnisch* falen in de wetenschappelijke cases zou men daarom kunnen kiezen voor het vinden van *'afwijkingen van geotechnische verwachtingspatronen van de betrokken professionals, projectorganisaties en bouwsector'*.

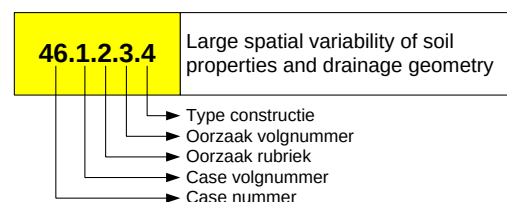
Dit onderzoek heeft de aanname gehanteerd dat de in hoofdstuk 4 gevonden cases allemaal geotechnisch gefaalde cases zijn. Hiermee wordt dus vervolgens aangenomen dat alle oorzaken die ten grondslag liggen aan het falen in deze cases, oorzaken van geotechnisch falen zijn. Alle geschikte geotechnisch gefaalde cases zijn daarom onderzocht op afwijkingen van verwachtingspatronen van betrokken professionals, projectorganisaties en bouwsector, om zo de oorzaken van geotechnisch falen in deze cases te identificeren.

5.1.2 Geïdentificeerde oorzaken van geotechnisch falen

De oorzaken van geotechnisch falen zijn geïdentificeerd in de case documenten, waarna een inschatting gemaakt is of deze zich bevonden op micro-, meso- of macroniveau. Hiermee beantwoordt deze paragraaf **subvraag 3.2**:

Welke oorzaken van geotechnisch falen worden beschreven in de cases op micro-, meso- en macroniveau?

Bijlage 8 laat een overzicht zien van alle oorzaken die worden beschreven in de 63 verschillende cases. In totaal 288 vrijwel verschillende oorzaken zijn door dit onderzoek geïdentificeerd. Iedere afzonderlijke oorzaak heeft een unieke code gekregen met daarin de belangrijkste oorzaak informatie (figuur 5.3). Hierdoor blijven deze oorzaken gedurende het hele onderzoek traceerbaar en is het mogelijk geweest via Excel automatisch aanpassingen op de categorisaties bij te houden. De categorisatie zelf is handmatig uitgevoerd door de onderzoeker.



Figuur 5.3: Codering oorzaken geotechnisch falen

Het *case nummer* en *-volgnummer* betreffen hierbij respectievelijk het nummer die iedere case heeft gekregen en het volgnummer van de case indien meerdere artikelen dezelfde cases hebben beschreven, zoals vastgesteld in hoofdstuk 4 en bijlage 4. De *oorzaak rubriek* geeft vervolgens aan welke categorisering de betreffende oorzaak heeft gekregen in dit onderzoek; professional (1), geotechniek (2), projectorganisatie (3), bouwsector (4) of externe factoren (5).

Indien er binnen de tot nu toe gestelde inkadering meerdere oorzaken zijn genoemd krijgen deze elk een *oorzaak volgnummer*. Worden er bijvoorbeeld vijf verschillende oorzaken genoemd, dan kan dit nummer op zijn hoogst vijf zijn. Tot slot wordt het *type constructie* ook meegenomen in de codering, om zo de mogelijkheden voor sortering op projecttype te vergroten. De verschillende typen constructies hierbij zijn (1) bouwputten, (2) ondergrondse leidingen, (3) rioleringen, (4) funderingen, (5) (snel)wegen, (6) tunnels, (7) (stuw)dammen en (8) overige.

Nu lijken de (stuw)dammen in eerste instantie niet erg op hun plaats, gezien de Nederlandse geografische situatie. Deze categorie beschrijft echter ook waardevolle informatie met betrekking tot de aanleg van dijken en aarden waterkeringen. De indeling van alle wetenschappelijke cases onder deze categorieën is uitgevoerd op basis van het in het artikel beschreven projecttype (klein/middel-project) of het grootste pijnpunt, beschreven in het artikel (grote projecten). Al deze indelingen, coderingen en beschrijvingen van de geïdentificeerde oorzaken van geotechnisch falen hebben uiteindelijk gezorgd voor een gestroomlijnd beoordelingsproces, opdat de meest significantie oorzaken snel bepaald konden worden (zie paragraaf 5.1.3).

Tabel 5.1: Aantallen oorzaken op micro-, meso- en macroniveau

Niveau	Micro		Meso	Macro		Totaal
Rubriek	Professional	Geotechniek	Projectorganisatie	Bouwsector	Externe factoren	
# oorzaken per rubriek	99 (34%)	42 (15%)	101 (35%)	10 (3%)	36 (13%)	288 (100%)
# oorzaken per niveau	141 (49%)		101 (35%)	46 (16%)		288 (100%)

Tabel 5.2: Aantallen oorzaken per niveau volgens Failure Mandala categorisatie

Verantwoordelijkheid	Individu	Organisatie	Geen van beide	Niemand	Totaal
# oorzaken huidige Geo-Impuls programma	104 (43%)	101 (42%)	31 (13%)	5 (2%)	241 (100%)
# oorzaken overige projectvoorstellen	37 (79%)	10 (21%)	0 (0%)	0 (0%)	47 (100%)
Subtotaal	141 (49%)	111 (39%)	31 (11%)	5 (2%)	288 (100%)

Bijlage 8 toont ook de significantie van de micro-, macro- en mesoniveaus, samengevat in tabel 5.1. Hieruit blijkt dat oorzaken op microniveau het vaakst bij dragen aan geotechnisch falen. Worden deze scores per echter per rubriek bekeken, dan blijken vooral de professional en de projectorganisatie (34% en 35%) door de case artikelen als veroorzakers van het falen aangewezen te worden. Mogelijke beheersmaatregelen zouden zich dus vooral hier op moeten richten. Geotechnisch falen als gevolg van de bouwsector (3%) en externe factoren (13%) is minder van belang op macroniveau. Hieruit blijkt de geïdentificeerde oorzaken vooral van menselijke aard zijn. Oorzaken met een niet-menselijke aard vallen namelijk binnen de categorie externe factoren en soms de categorie geotechniek.

Tabel 5.2 loopt alvast vooruit op de rest van dit rapport door tabel 5.1 te vergelijken met het Geo-Impuls programma. De structurering van oorzaken op micro-, meso- en macroniveau ook wordt namelijk ook gebruikt door andere onderzoeken en modellen, zij het met een andere naamgeving (*individu*, *organisatie*, *geen van beide* en *niemand*). Hieruit blijkt de niveau indeling uit tabel 5.1 op het gebied van individuen en organisaties goed overeen te komen met wetenschappelijke indelingen, zoals bijvoorbeeld de Failure Mandala (paragraaf 5.1.3). De indeling van oorzaken op micro-, meso-, en macroniveau mag dus als betrouwbaar gezien worden.

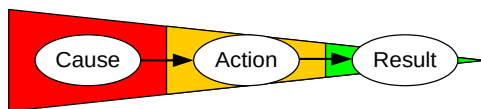
Een kleine nuance op de scores moet echter nog wel worden gemaakt. Werd een oorzaak geïdentificeerd binnen de rubriek professional of projectorganisatie, dan was niet altijd even duidelijk in welke van de twee rubrieken deze geplaatst moest worden. Zo bleken de bronnen van bijvoorbeeld ontwerpfouten en gebrekkige controles op de ontwerpen niet altijd even traceerbaar. Vaak was onduidelijk wie er voor het hierop volgende falen verantwoordelijk werd gehouden; een individuele ontwerper of de hele ontwerpende organisatie. Dit was echter wel te verwachten, aangezien de auteurs van de case artikelen de juridische aansprakelijkheids-vraag vaak vermijden. Dit is namelijk geen zaak van de onderzoekers, maar van justitie. Daarnaast is deze aansprakelijkheid vaak jaren na het betreffende geotechnische incident nog onduidelijk. De organisatievorm, de randvoorwaarden van het project en de toonzetting van het artikel zijn daarom vaak gebruikt voor het beantwoorden van de vraag of bepaalde oorzaken van individuele of organisatorische aard waren. Op basis hiervan bleek voor slechts enkele cases dit antwoord nog twijfelachtig.

5.1.3 Belangrijkste oorzaken van geotechnisch falen

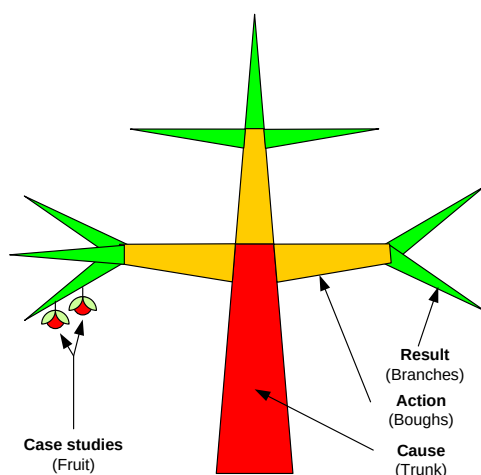
De mate van significantie van iedere afzonderlijke oorzaak voor de bouwsector of zelfs constructietype is moeilijk kwalitatief te bepalen, aangezien de randvoorwaarden per project altijd anders zullen zijn (zie ook

paragraaf 5.1.1). Daarom is gekozen voor een meer kwantitatieve aanpak, door de oorzaken te categoriseren. Hiermee beantwoordt deze paragraaf **subvraag 3.3**:

Welke categorisatie van oorzaken is er mogelijk op de drie niveaus?



Figuur 5.5: Oorzaak-Actie-Gevolg-diagram bij falen (Hatamura, 2005)

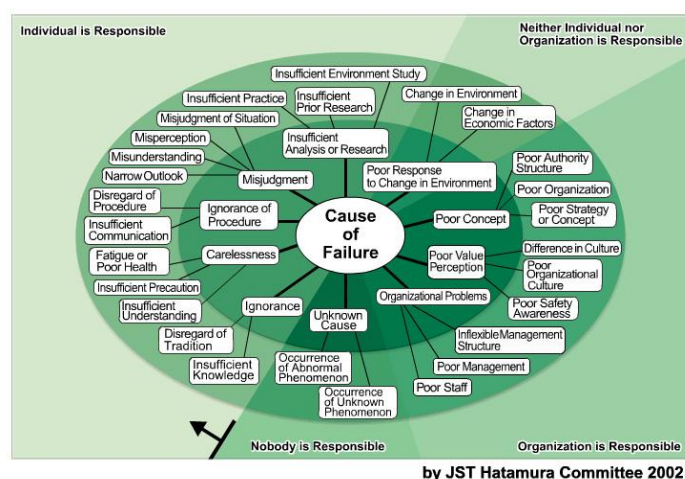


Figuur 5.4: Failure Tree (Hatamura, 2005)

De geïdentificeerde oorzaken van geotechnisch falen zijn vaak zo specifiek, dat deze vaak niet van toepassing kunnen zijn op andere soortgelijke projecten. Het is nodig dat de oorzaken naar een hoger abstractieniveau worden getild. Eén wetenschappelijke indelingsmethode is hiervoor bijzonder geschikt en wordt door het Japan Science and Technology Agency (JST) al sinds 2005 gebruikt voor de analyse en opslag van meer dan 100 analyses van gefaalde projecten. De door het JST ontwikkelde *Failure Mandala* onderscheidt op het hoogste abstractieniveau drie fasen die leiden tot het ontstaan van falen (figuur 5.4), vergelijkbaar met de in figuur 5.1 gepresenteerde risicoketen. 'Cause' staat hierin gelijk aan het 'oorzaakkader' van de risicoketen. 'Action' is gelijk aan 'blootstelling' en 'result' staat gelijk aan de 'schadelijke gevolgen' van de risicoketen (figuur 5.1). De door Hatamura (2005) gepresenteerde oorzaak-actie-gevolg-diagram is daarom iets simplistischer dan risicoketen. Het maakt geen onderscheid tussen gebeurtenissen /activiteiten en effecten. In de praktijk werkt het model van Hatamura echter precies hetzelfde (zie ook bijlagen 10 & 11). Daarnaast is het makkelijker het model

uit te breiden. Zoals in figuur 5.2 één gebeurtenis namelijk kan leiden tot meerdere schadelijke gevolgen, zo heeft het JST de zogenaamde *Failure Tree* ontwikkeld (figuur 5.5). Het JST benadrukt hierbij dat de meest structurele problemen alleen kunnen worden opgelost door regelmatig 'de vruchten van deze boom te plukken' in de vorm van case studies. De resultaten van deze studies kunnen gebruikt worden om processen in de toekomst te verbeteren. Eén abstractieniveau lager is dezelfde schematisering mogelijk, maar dan specifiek voor oorzaken. Verzamel je meerdere van deze structurele oorzaken (main causes), dan wordt het idee van een *Failure Mandala* duidelijk (bijlage 10).

Het JST onderscheidt de *Cause Mandala*, *Action Mandala* & *Result Mandala*. Voor dit onderzoek is alleen de Cause Mandala interessant (figuur 5.6). Meer details over de indeling volgens deze methode zijn te vinden in bijlage 11. Eén abstractieniveau lager is dezelfde schematisering mogelijk, maar dan specifiek voor oorzaken. Verzamel je meerdere van deze structurele oorzaken (main causes), dan wordt het idee van een *Failure Mandala* duidelijk (bijlage 10). Het JST onderscheidt de *Cause Mandala*, *Action Mandala* & *Result Mandala*. Voor dit onderzoek is alleen de Cause Mandala interessant (figuur 5.6). Meer details over de indeling volgens deze methode zijn te vinden in bijlage 11.



Figuur 5.6: Failure Cause Mandala

Tabel 5.3: Belangrijkste 1^{ste} - & 2^{de}-graads oorzaakcategorieën geotechnisch falen

Deze wetenschappelijke oorzaak indeling bestaat uit 10 eerstegraads oorzaken en 27 tweedegraads oorzaken. In hoofdstuk 6 zal blijken dat dit ook goede mogelijkheden voor vergelijking met het Geo-Impuls programma biedt, omdat dit programma uit 12 eerstegraads- (werkgroepen) en 24 tweedegraads (projectvoorstellen) bestaat. Op basis van eigen kennis en ervaring zijn alle in paragraaf 5.3.2 geïdentificeerde oorzaken van geotechnisch falen zo objectief mogelijk ingedeeld (gecategoriseerd) in deze wetenschappelijke Failure Cause Mandala (bijlage 13 & bijlage 15). Hetzelfde is gedaan volgens voor het Geo-Impuls programma (bijlage 14 en bijlage 16). Deze Geo-Impuls indeling zal in hoofdstuk 6 gebruikt worden ter vergelijking.

5.1.4 Verificatie en validatie

Het grote aantal geïdentificeerde oorzaken van geotechnisch falen en de

manier van categorisatie geeft een voldoende betrouwbaar beeld voor een verificatie en validatie van de resultaten van deze categorisatie. Hiermee beantwoordt deze paragraaf **subvraag 3.4**:

Welke verificatie en validiteit heeft deze categorisatie van oorzaken?

5.1.4.1 Resultaten categorisatie

Tabel 5.3 laat de een kwalitatief wetenschappelijke rangschikking van oorzaken van geotechnisch falen zien binnen een afspiegeling van de Nederlandse gww-sector (bijlage 15 & bijlage 17).

5.1.4.2 Verificatie

Het is mogelijk geweest tien verschillende (1^{ste}-graads) categorieën te onderscheiden binnen een verzameling van 288 verschillende oorzaken van geotechnisch falen. Binnen dezelfde verzameling is het op een lager abstractieniveau mogelijk geweest twintig verschillende (2^{de}-graads) categorieën te onderscheiden. Zeven categorieën bleven zonder resultaten. Geen van de 288 oorzaken kon aan in de laatste categorieën ingedeeld worden. Kwantitatief gezien mogen deze resultaten dus als voldoende verifieerd worden.

5.1.4.3 Validatie

De wetenschappelijke methode van het Japan Science and Technology Agency (JST) is gebruikt om een objectieve categorisatie te maken van de verzamelde oorzaken van geotechnisch falen. De oorzaak-beschrijvingen zijn letterlijk overgenomen uit wetenschappelijke artikelen, waardoor interpretatieverschillen als minimaal beschouwd mogen worden. Ondanks dat de oorzaken slechts op basis van één onderzoeker zijn kennis en ervaring zijn gecategoriseerd, zijn de resultaten daarom voldoende valide voor het vervolg van dit onderzoek.

Omschrijving	Subtotaal	(Rang)	Totaal	(Rang)
[1ste-graads / 2de-graads oorzaken]		[1-27]		[1-10]
1. Ignorance			6	(9)
a. Insufficient Knowledge	6	(14)		
b. Disregard of Tradition	0	(21)		
2. Carelessness			46	(3)
a. Insufficient Understanding	28	(5)		
b. Insufficient Precaution	18	(7)		
c. Fatigue or Poor Health	0	(21)		
3. Ignorance of Procedure			14	(7)
a. Disregard of Procedure	9	(10)		
b. Insufficient Communication	5	(15)		
4. Misjudgement			21	(6)
a. Narrow Outlook	9	(10)		
b. Misjudgement of Situation	8	(13)		
c. Misunderstanding	2	(19)		
d. Misperception	2	(19)		
5. Insufficient Analysis or Research			54	(2)
a. Insufficient Environmental Study	37	(1)		
b. Insufficient Practice	12	(8)		
c. Insufficient Prior Research	5	(15)		
6. Poor Response to Change in Environment			31	(5)
a. Change in Environment	31	(4)		
b. Change in Economic Factors	0	(21)		
7. Poor Concept			46	(4)
a. Poor Strategy or Concept	36	(2)		
b. Poor Organization	10	(9)		
c. Poor Authority Structure	0	(21)		
8. Poor Value Perception			56	(1)
a. Poor Safety Awareness	32	(3)		
b. Poor Organizational Culture	20	(6)		
c. Difference in Culture	4	(18)		
9. Organizational Problems			9	(8)
a. Poor Management	9	(10)		
b. Inflexible Management Structure	0	(21)		
c. Poor Staff	0	(21)		
10. Unknown Cause			5	(10)
a. Occurrence of Abnormal Phenomenon	5	(15)		
b. Occurrence of Unknown Phenomenon	0	(21)		
	288		288	

5.2 Gevolgen van geotechnisch falen

Deze paragraaf gaat in op de resultaten van de identificatie van gevolgen van geotechnisch falen uit de lijst met geschikte wetenschappelijke cases. Hiermee beantwoordt deze paragraaf **deelvraag 4**:

Welke gevolgen van geotechnisch falen worden beschreven in de in deelvraag 2 geselecteerde cases?

5.2.1 Gevolgen van geotechnisch falen

Gevolgen van falen worden, in overeenstemming met de risicoketen van Halman (1994) (figuur 3.7), aangenomen altijd schadelijke gevolgen te zijn. Dit betekende dat in de lijst met verzamelde cases gezocht moet worden naar omschrijvingen van deze schades. Hiermee beantwoordt deze paragraaf **deelvraag 4.1**:

Op welke manier kunnen 'gevolgen van geotechnisch falen omschreven' worden?

In hoofdstuk 3 onderscheidde dit onderzoek al zes vormen van schade; te weten slachtoffers, fysieke schade, reputatieschade, kostenverhogingen, vertragingen en hinder. In andere woorden: schade op het gebied van respectievelijk veiligheid (1), kwaliteit (2), reputatie (3), geld (4), tijd (5) en hinder (6). Kwaliteit en hinder beperken zich tot kwalitatieve omschrijvingen, zoals de mate van functionaliteit die er na het falen overblijft of de ernst van andere huisvesting. De overige schades kunnen daarnaast ook kwantitatief omschreven worden, zoals de hoeveelheid doden, -geld, -maanden, etc.

Gevolgen van geotechnisch falen zijn in dat opzicht weinig verschillend ten opzichte van de hierboven omschreven gevolgen. Een mogelijke hypothese was echter dat gevolgen voor het milieu en geografie een grotere rol zouden spelen. De meest direct hieraan gerelateerde schades: hinder (tijdelijk andere huisvesting) en reputatie (negatieve berichtgeving) als gevolg van bijvoorbeeld vervuilde grond zouden hierdoor vaker geïdentificeerd moeten in de cases. Deze hypothese zou de omschrijving van deze gevolgen van geotechnisch falen echter niet veranderen. Daarnaast bleek het verschil tussen de gevolgen van falen en geotechnisch falen in de cases niet waarneembaar. In de cases is dus simpelweg verder gezocht naar kwantitatieve en/of kwalitatieve benamingen van schades.

5.2.2 Geïdentificeerde gevolgen van geotechnisch falen

Het concreet door cases benoemen van deze gevolgen van geotechnisch falen bleek, min of meer zoals verwacht, nogal gevoelig te liggen. Deze gevolgen beantwoorden de schuldvraag in veel gevallen concreter dan de manier waarop oorzaken worden benoemd. Ondanks dit worden bepaalde schades toch nog regelmatig kwantitatief benoemd. Hiermee beantwoordt deze paragraaf **deelvraag 4.2**:

Welke gevolgen van geotechnisch falen worden beschreven in de cases?

Tabel 5.4: Classificatie gevolgen geotechnisch falen (Van Staveren, 2010b)

Gevolgtipe	Score	Classificatie
Veiligheid	1	Licht gewonden
	2	Zwaar gewonden
	3	Doden
Kwaliteit	1	Cosmetische schade
	2	Functioneel onbruikbaar
	3	Instorting
Reputatie	1	Negatieve berichtgeving
	2	Koersdaling / Publieke berisping
	3	Faillissement / Ontslag
Geld	1	< €100.000
	2	€100.000 - €1.000.000
	3	> €1.000.000
Tijd	1	< 0.5 jaar
	2	0.5 - 1 jaar
	3	> 1 jaar
Hinder	1	Beperkt / Kort
	2	Zwaar / Langdurig
	3	Tijdelijk andere huisvesting

Wetenschappers willen (als auteurs van de case artikelen) objectief blijven en blijven in hun rapportages hangen in technische zaken. De hoogte van bijvoorbeeld de financiële schade en aansprakelijkheid laten ze over aan justitie (Sowers, 1993). Nieuwsartikelen vermelden deze gevolgen wel, maar worden dan weer minder objectief geacht.

Op basis van de ernst van de schades zijn, in overeenstemming met de *Cobouw Incidenten Analyse* (Van Staveren, 2010) de gevolgen van het geotechnisch falen geclassificeerd op een schaal van 1 tot 3 (zie tabel 5.4).

Hiermee is het mogelijk de cases rangschikken per gevolgtipe. De cumulatieve scores van alle gevolgtypes bij elkaar opgeteld geven een beeld van de totale impact van het geotechnisch falen. Er was echter te weinig data beschikbaar om een betrouwbaar beeld te geven van alle gevolgen en rangschikkingen. Hierop is besloten de resultaten van deze analyse niet verder mee te nemen in het onderzoek.

5.2.3 Verificatie en validatie

De keuze voor wetenschappelijke case artikelen bleek een ongewenst, maar niet onverwacht, effect te hebben op de verificatie en validiteit. Hiermee beantwoordt deze paragraaf **deelvraag 4.3**:

Welke verificatie en validiteit hebben de geïdentificeerde gevolgen?

5.2.3.1 Resultaten

In de lijst met geschikte cases zijn de fysieke schades (kwaliteit) aan de constructies in 56 van de 63 cases geïdentificeerd (bijlage 8). Veiligheid (11 cases), hinder (7 cases), geld (6 cases), tijd (6 cases) en reputatie (3 cases) zijn vrijwel niet vermeld. Wat de ernst van de schades betreft zijn vooral de ernstigste schades geïdentificeerd. Zo worden in het geval van veiligheid, geld en tijd vrijwel alleen maar score 3 classificaties genoemd in de cases. Op het gebied van kwaliteit, reputatie en hinder is dit veel wisselender. In veel gevallen worden dus ook wel degelijk de minder ernstige schades genoemd.

5.2.3.2 Verificatie

Doel van de identificatie van gevolgen van geotechnisch falen was om een idee te krijgen van de ernst van geotechnische incidenten in verschillende contexten (randvoorwaarden). Middels een rangschikking van de cumulatieve gevolgscores zouden dan conclusies gesteld kunnen worden met betrekking tot de prioritisering van de aanpak van geotechnisch falen. Wetenschappelijke artikelen bleken hiervoor ongeschikt. Ze geven geen compleet beeld van de schadelijke gevolgen. De verificatie van de resultaten is hiermee onvoldoende.

5.2.3.3 Validatie

Zowel de identificatie als de classificatie van de gevolgen van geotechnisch falen is verricht volgens het model van de Incidentenanalyse 2010 (Van Staveren, 2010b). Ondanks het beperkte aantal zijn de geïdentificeerde gevolgen dus wel degelijk valide.

5.3 Beheersmaatregelen van geotechnisch falen

Deze paragraaf gaat in op de resultaten van de identificatie van beheersmaatregelen bij geotechnisch falen uit de lijst met geschikte wetenschappelijke cases. Hiermee beantwoordt deze paragraaf **deelvraag 5**:

Welke beheersmaatregelen bij geotechnisch falen worden beschreven in de in deelvraag 2 geselecteerde cases?

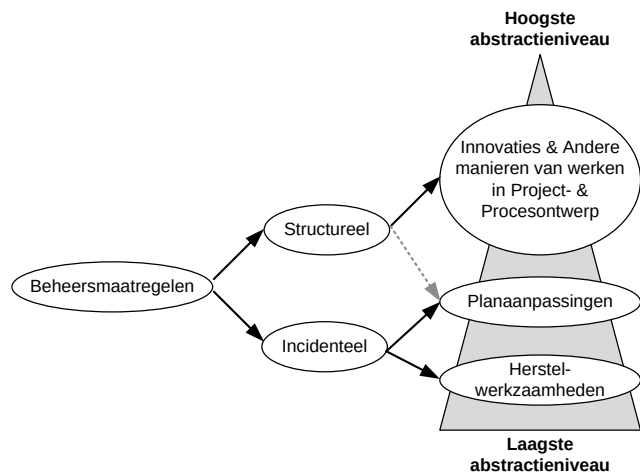
5.3.1 Beheersmaatregelen bij geotechnisch falen

De belangrijkste beheersmaatregelen bij falen worden in wetenschappelijke cases vaak in het slot van de artikelen genoemd. Specifiekere beheersmaatregelen op een lager abstractieniveau betreffen vaak conclusies van paragrafen of alinea's en zijn moeilijker te identificeren. Het vinden van de juiste beheersmaatregelen is hiermee een kwestie van het vinden van de juiste conclusies.

Op basis van wetenschappelijke bevindingen dragen de cases vaak beheersmaatregelen aan voor het falen van projecten. Deze door de wetenschappers en technici gestelde conclusies zouden gebruikt kunnen worden om soortgelijk falen in de toekomst te voorkomen. Case artikelen zijn hier soms heel duidelijk in door een lijst met verbeterpunten te presenteren. Meestal moeten beheersmaatregelen echter worden gezocht in de algehele conclusies van artikelen of conclusies aan het eind van alinea's.

Hierbij moet onderscheid gemaakt worden tussen incidentele en structurele beheersmaatregelen. Incidentele maatregelen betreffen vaak herstelwerkzaamheden en planaanpassingen op de korte tot semi-korte termijn, zoals het verwijderen van vervuilde bodem, plaatsen van verstijvingen, etc. Structurele maatregelen gaan daarentegen vaak over leringen die getrokken zijn van eerdere fouten en zijn projectoverstijgend. Voorbeelden hiervan zijn het uitvoeren van multidisciplinaire evaluaties van grondkenmerken, verbeteringen van rekenprocessen, etc. Planaanpassingen blijken in sommige gevallen ook projectoverstijgend te werken. (figuur 5.7).

Voor dit onderzoek zijn vooral de structurele beheersmaatregelen interessant, aangezien er vooral lering getrokken moet worden van fouten uit het verleden. Incidentele beheersmaatregelen zijn daarbij in de cases niet altijd even betrouwbaar en effectief gebleken in het verhelpen van gebreken in het project of proces. Deze zijn dus minder interessant voor dit onderzoek.



Figuur 5.7: Mate van structuraliteit van beheersmaatregelen

De wetenschap lijkt echter moeite te hebben met het benoemen van structurele beheersmaatregelen bij geotechnisch falen. Een gebrek aan (de juiste) kennis en mensen lijkt namelijk een aanzienlijke rol te spelen in het ontstaan van falen bij geotechnische engineering (Bea, 2006; Trenter, 2003; Whitman, 2000; Hoek & Palmeiri, 1998, Sowers, 1993). Deze beheersmaatregelen zijn daarom vaak erg abstract en moeilijk te vinden in de case artikelen. Hiermee beantwoordt deze paragraaf **deelvraag 5.1**:

Op welke manier kunnen ‘beheersmaatregelen bij geotechnisch falen’ omschreven worden?

Beheersmaatregelen bij geotechnisch falen zijn moeilijk te identificeren in case artikelen. Het zijn vaak ‘lessen’ die terloops in de teksten worden genoemd. Hierdoor is niet altijd even duidelijk te zeggen wat de concrete maatregelen zijn. Alleen door de teksten volledig te analyseren kunnen deze maatregelen geïdentificeerd worden.

5.3.2 Geïdentificeerde beheersmaatregelen bij geotechnisch falen

Met behulp van het dataselectie model (bijlage 5) zijn de in de case artikelen genoemde beheersmaatregelen bij geotechnisch falen geïdentificeerd. Dit bleek bijzonder arbeidsintensief, aangezien in weinig gevallen de maatregelen duidelijk werden opgesomd. Toch zijn voor 48 van de 63 cases in totaal 118 van ‘lessen’ verzameld (bijlage 9), vaak in combinatie met het beoogde effect. Hiermee beantwoordt deze paragraaf **deelvraag 5.2**:

Welke beheersmaatregelen bij geotechnisch falen worden beschreven in de cases op micro-, meso- en macroniveau?

Veel van de beheersmaatregelen bleken inderdaad terug te vallen op het in paragraaf 5.3.1 genoemde kennisprobleem. Dit bleek vaak om (in eerste instantie) incidentele planaanpassingen te gaan. Waren ze wel structureel, dan bleef het beoogde effect vaak onbewezen. De betrouwbaarheid van de resultaten zou hierdoor in gevaar komen. De diversiteit en categoriseerbaarheid van deze resultaten bleek eveneens vrij beperkt. Bijlage 9 laat de geïdentificeerde incidentele (I) en structurele (S) beheersmaatregelen zien.

5.3.3 Belangrijkste beheersmaatregelen bij geotechnisch falen

De Failure Mandala methode bood geen uitkomst voor de categorisatie van beheersmaatregelen bij falen. Deze methode beperkt zich namelijk tot de gevolgen van falen. Daarom zou een andere wetenschappelijke indelingsmethode gevonden moeten worden voor deze categorisatie. Hiermee beantwoordt deze paragraaf **deelvraag 5.3:**

Welke categorisatie van beheersmaatregelen is er mogelijk op de drie niveaus?

Een wetenschappelijke methode voor deze categorisatie is niet gevonden. De betrouwbaarheid van een mogelijke methode zou echter al onder druk komen te staan door de onduidelijk omschreven beheersmaatregelen. Het concreet overnemen van één of meerdere zinnen uit de artikelen, zoals voor de identificatie van de oorzaken van geotechnisch falen is gedaan, was hierdoor niet mogelijk. Door het moeilijk in te schatten abstractieniveau van de beheersmaatregelen en de beperkte onderzoekstijd en -prioriteit is uiteindelijk besloten deze resultaten verder niet te onderzoeken.

5.3.4 Verificatie en validatie

Zowel de verificatie als de validiteit bleek hierdoor moeilijk te waarborgen. Hiermee beantwoordt deze paragraaf **deelvraag 5.4:**

Welke validiteit en verificatie heeft deze categorisatie van beheersmaatregelen?

5.3.4.1 Resultaten

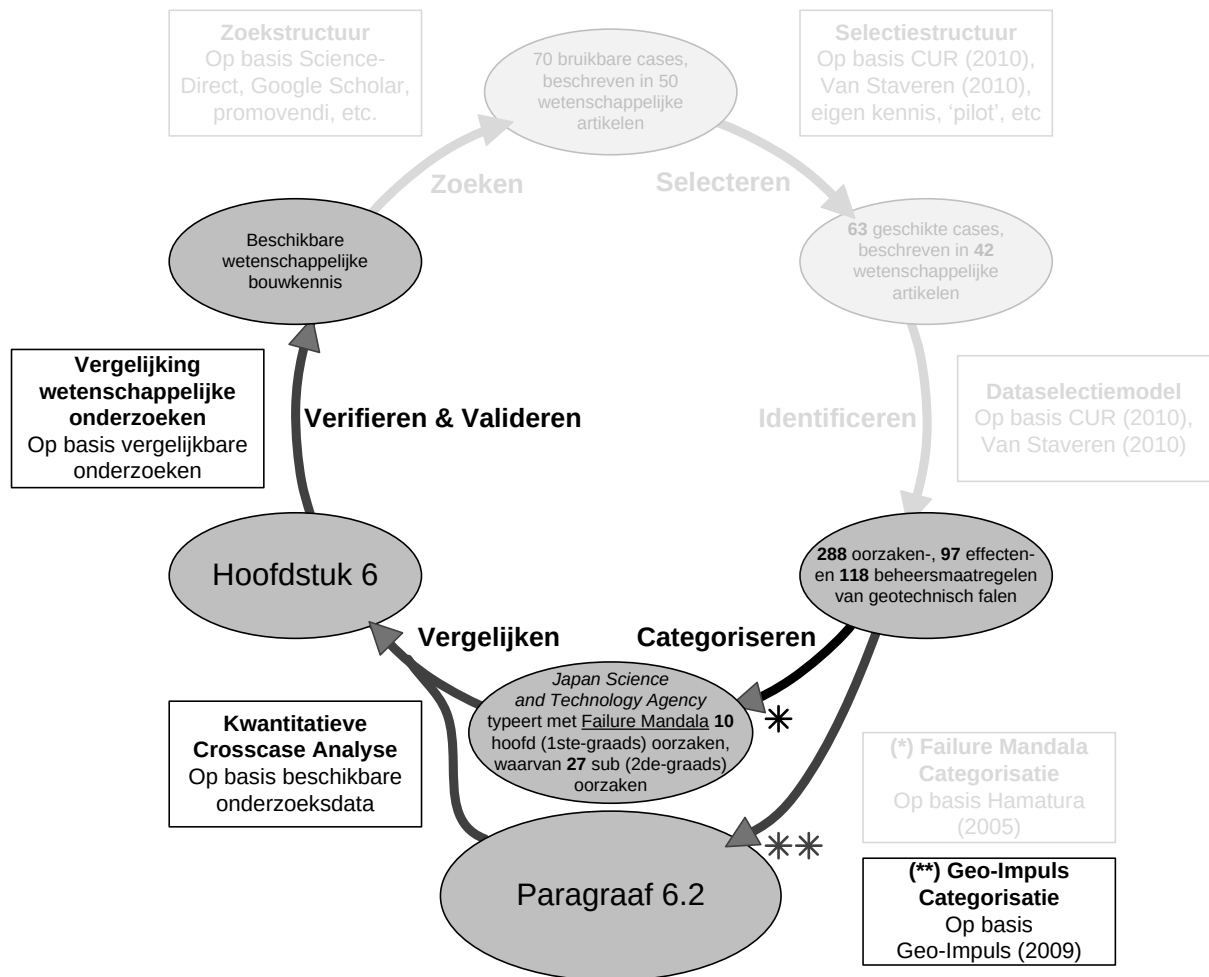
Vanwege het moeilijk in te schatten abstractieniveau van de resultaten was het moeilijk steekhoudende conclusies te trekken voor de sector als geheel. Hier is bij het ontwerpen van dit onderzoek geen rekening mee gehouden. De geïdentificeerde beheersmaatregelen kunnen wel waardevol zijn wanneer deze per projecttype bekeken worden. De scope en beschikbare tijd voor dit onderzoek liet dit echter niet toe, waarop is besloten deze resultaten niet verder te analyseren.

5.3.4.2 Verificatie

Doel was om duidelijk en structureel omschreven beheersmaatregelen van geotechnisch falen te identificeren in de verzamelde case artikelen, om zo een geprioritiseerd plan van aanpak op te stellen voor de gww-sector bij de aanpak van geotechnisch falen. Dit bleek niet haalbaar, aangezien de beheersmaatregelen vaag en weinig structureel werden omschreven. De verificatie van de geïdentificeerde beheersmaatregelen is hiermee onvoldoende.

5.3.4.3 Validatie

Doel was om een objectief wetenschappelijk beeld te geven van de belangrijkste beheersmaatregelen. De betrouwbaarheid van de resultaten was echter onvoldoende en een wetenschappelijke indelingsmethode is niet gevonden. De validiteit van de geïdentificeerde beheersmaatregelen is hiermee eveneens onvoldoende. Om deze redenen is niet verder gewerkt met de resultaten van deze paragraaf (paragraaf 5.3).



6 Crosscase analyse Geo-Impuls programma

De vorige hoofdstukken hebben getracht met de Failure Mandala methode een wetenschappelijke ‘second opinion’ te vormen omtrent de inschatting van de belangrijkste oorzaken van geotechnisch falen. De ‘first opinion’ is in dit geval uitgevoerd met de totstandkoming van het Geo-Impuls programma. Op basis van een crosscase analyse van de Failure Mandala methode met het Geo-Impuls programma zouden conclusies getrokken kunnen worden in hoeverre het Geo-Impuls programma daadwerkelijk aansluit op de oorzaken van geotechnisch falen. Hiermee beantwoordt dit hoofdstuk voor zover mogelijk de laatste vraag, **deelvraag 6**:

In welke mate sluit het huidige Geo-Impuls programma aan op de in deelvragen 3 t/m 5 beschreven oorzaken en beheersmaatregelen van geotechnisch falen?

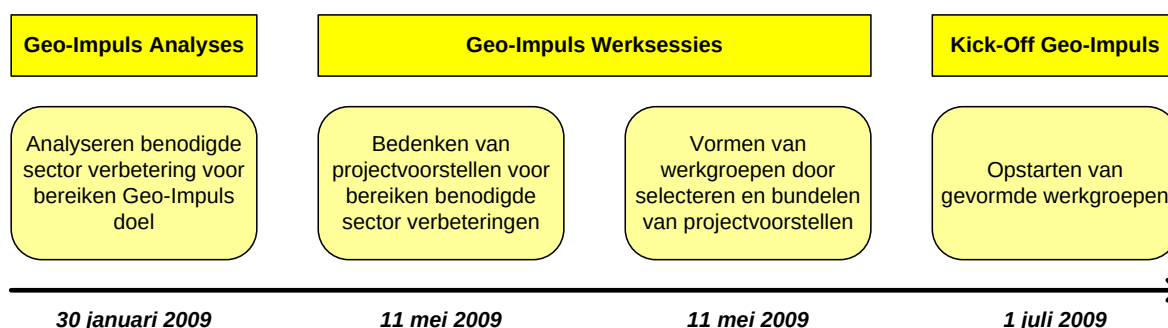
Hiervoor zal eerst de totstandkoming van het Geo-Impuls programma worden toegelicht (paragraaf 6.1). Hieruit zal blijken dat externe evaluatie van dit programma bij kan dragen aan het verduidelijken van het beeld dat de betrokken geotechnici hebben ten aanzien van geotechnisch falen. Crosscase analyse van dit programma met het Failure Mandala model zal een aantal overeenkomsten en verschillen laten zien (paragraaf 6.2). Deze zullen tot slot conclusies opleveren voor de haalbaarheid van de Geo-Impuls doelstelling (paragraaf 6.3).

6.1 Totstandkoming Geo-Impuls programma

In de inleiding (hoofdstuk 1) is al laten zien hoe het gevormde Geo-Impuls programma er in 2011 uit ziet. Hieruit bleek dat twaalf verschillende werkgroepen zich baseren op vijf centrale thema’s (paragraaf 1.2). Deze werkgroepen worden operationeel aangestuurd door het Kernteam, welke op zijn beurt beleidsmatig wordt aangestuurd door de Stuurgroep (paragraaf 1.3). Op basis van enkele gesprekken met betrokken Geo-Impuls experts is een beeld geschetst van de totstandkoming van de organisatie. Hiermee beantwoordt deze paragraaf **deelvraag 6.1**:

Op welke manier kan de totstandkoming van het Geo-Impuls programma omschreven worden?

Geo-Impuls bestaat formeel nog maar kort (figuur 6.1). Informeel bestond het initiatief al langer. De onderzoeken van de CUR en enkele experts hebben de aanzet gegeven voor het opzetten van een programma van aanpak voor het bestrijden van geotechnisch falen, het zogenaamde Geo-Impuls programma. Bijlage 21 licht dit proces verder toe. De conclusie hierbij is dat het goed zou zijn (de doelstelling van) het Geo-Impuls programma onafhankelijk te toetsen, omdat er een groot aantal subjectieve (op meningen gebaseerde) stappen in de totstandkoming aanwezig zijn.



Figuur 6.1: Tijdsbeeld totstandkoming Geo-Impuls

6.2 Crosscase analyse Geo-Impuls programma

Voor een onafhankelijke toetsing van de doelmatigheid en doeltreffendheid van het Geo-Impuls programma is op basis van de beschikbare data gekozen voor een kwantitatieve crosscase analyse (figuur 6.2). Op eenzelfde manier waarop de 288 oorzaken van geotechnisch falen in paragraaf 5.1 zijn gecategoriseerd volgens de Failure Mandala categorisatie, worden deze oorzaken hiervoor ook volgens de indeling van het Geo-Impuls programma gecategoriseerd. Door deze kruislings met elkaar te vergelijken (crosscase analyse) wordt duidelijk welke Failure Mandala categorieën het meest relevant zijn voor elk van de Geo-Impuls categorieën. Ook de projectvoorstellen die niet zijn meegenomen in het huidige Geo-Impuls programma worden in deze analyse meegenomen. Wellicht dat relevante categorieën worden gemist. Hiermee beantwoordt deze paragraaf **deelvraag 6.2**:

		Failure Mandala Categorisatie															Totaal	
		1			2			3			...			n				
		a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c		
Geo-Impuls Categorisatie	1	x																
		y																
		z																
	2	x																
		y																
		z																
	3	x																
		y																
		z																
	..	x																
		y																
		z																
	m	x																
		y																
		z																
Totaal																	N	

Figuur 6.2: Voorbeeld kwantitatieve crosscase analyse

Welke resultaten laat de vergelijking van het Geo-Impuls programma met de gekozen oorzaakscategorisatie zien?

In theorie komen het Geo-Impuls programma en de Failure Mandala namelijk mooi met elkaar overeen. Ze wijzen elk respectievelijk 12 en 10 hoofdoorzaken (m en n in figuur 6.2) aan van (geotechnisch) falen. Een abstractieniveau lager wijzen ze elk respectievelijk 24 en 27 suboorzaken (som van alle x,y,z 's en som van alle a,b,c 's in figuur 6.2) aan (zie ook tabel 6.1). N is hierbij het totale aantal van 288 oorzaken. De volgende paragrafen zullen hier verder op in gaan.

6.2.1 Belangrijkste oorzaken van geotechnisch falen volgens Geo-Impuls programma

Voor het maken van deze vergelijking zijn de 288 in paragraaf 5.1 geïdentificeerde oorzaken van geotechnisch falen opnieuw gebruikt. Op dezelfde manier waarop deze oorzaken onder de 10 eerstegraads- en 27 tweedegraads Failure Mandala categorieën zijn ingedeeld (bijlage 13 & tabel 5.3) zijn ze nu ingedeeld onder de 12 werkgroepen en 24 projectvoorstellen van Geo-Impuls. Inclusief de projectvoorstellen die niet in het huidige Geo-Impuls programma zijn opgenomen is er sprake van 13 'werkgroepen' en 38 projectvoorstellen. Hierbij worden de 14 'afgevallen' projectvoorstellen gerekend als één extra werkgroep (tabel 6.1).

Dit uit 13 werkgroepen en 38 projectvoorstellen bestaande *Geo-Impuls programma + overige projectvoorstellen*, nader genoemd in de rest van dit onderzoeksrapport als Geo-Impuls programma, is vervolgens gebruikt ter

Tabel 6.1: Aantallen hoofd- & subcategorieën

	Aantal hoofdcategorieën voor oorzaken van falen	Aantal subcategorieën voor oorzaken van falen
Failure Cause Mandala (Japan Science & Technology Agency)	10	27
Geo-Impuls programma (Geo-Impuls)	12	(38 – 14 =) 24
Geo-Impuls programma + overige projectvoorstellen (Geo-Impuls)	(12 + 1 =) 13	38

categorisatie van de oorzaken van geotechnisch falen. Tabel 6.2 toont het eindresultaat en de rangschikking van deze analyse. De gedetailleerde uitwerking van deze analyse is te vinden in de bijlagen 14, 16 en 18. Opvallend is de grootte van de categorie overig, met 49 oorzaken. Vooral projectvoorstel II-13 (*Showcase Probabilistisch Plannen*) is hier met 17 oorzaken een belangrijk onderdeel van. Andere projectvoorstellen in de categorie overig komen niet boven het aantal van 5 uit.

Tabel 6.2: Belangrijkste werkgroepen & projectvoorstellen geotechnisch falen

Werkgroepnr	Projectvoorstel(len)	Omschrijving	Subtotaal	(Rang)	Totaal	(Rang)
				[1-38]		[1-13]
1	I-2	Risicoverdeling GeoTechniek (RV-G) Risicoverdeling GeoTechniek in Projecten	9	(12)	9	(9)
2	III-3 II-6 V-1	Geo-Communicatie in Projecten Opleiding/Onderwijs Imagoverbetering via opleiding & onderwijs Geo-communicatie Impuls	11 7 0	(10) (15) (34)	18	(4)
3	III-1	Grondonderzoek in de Tenderfase Grondonderzoek in de tenderfase	16	(5)	16	(5)
4	IV-4 II-4	Kwaliteitscontrole in de Grond Gevormde Elementen Verbeteren kwaliteitscontrole in de grond gevormde elementen Diepwanden	2 0	(25) (34)	2	(12)
5	I-1 I-3	Contracteisen GeoTechniek Kwaliteitseisen in Contracten Processeisen Geotechniek Vraagspecificatie	10 0	(11) (34)	10	(8)
6	II-14 II-12 III-4 V-3 V-2 V-4	De Ondergrond in Projecten naar de Voorgrond Ondergronds Risicomanagement binnen Projecten (GeoQ) GeoTechniek in de Planfase Geotechnische classificatie Geo-monitoring Impuls Geo-start Impuls Geo-kenniskracht Impuls	50 19 14 13 12 2	(1) (3) (6) (7) (8) (25)	110	(1)
7	III-2 V-5	Kloof Uitvoering-Adviseur Kloof uitvoering - adviseur Geo-uitvoeringstoets	9 5	(12) (16)	14	(6)
8	IV-8	Betrouwbaar Ondergrond Model Betrouwbaar Ondergrond Model	30	(2)	30	(3)
9	IV-2	Lange Termijnmetingen en Modellen Lange termijn metingen en modelverbeteringen	9	(12)	9	(9)
10	II-8	Interactive Design for GeoStructures Showcase Observational Method	5	(16)	5	(11)
11	II-16	Internationale Samenwerking Leren van het buitenland	2	(25)	2	(12)
12	II-15 II-3	Opleiding & Onderwijs Een vernieuwd GEONET Promotie Normen en richtlijnen	12 2	(8) (25)	14	(6)
Overig	II-13 II-5 II-2 IV-7 II-1 II-11 IV-9 V-6 IV-1 IV-10a II-10 IV-5 IV-10b II-9 IV-6 IV-3	- Showcase Probabilistisch Plannen Toepassing Grondverbeteringstechnieken Restzettingseisen en Contracten Betere modellering gronddeformaties Laboratoriumonderzoek in DINO Toepassing Injectietechnieken Zettingsvloeiingen Geo-product Impuls Robuust ontwerp van waterkeringen Modellering gedrag organische gronden -onverzadigd Meetgegevens breder beschikbaar maken Bio-Bouwstoffen - Levensduur Modellering gedrag organische gronden Toepassing Innovatieve dijkversterkingstechnieken Voorspelling naverdichting ... damwanden Beheersen risico's m.b.t. Bouwtrillingen	17 5 4 4 3 3 3 3 2 2 1 1 1 0 0 0	(4) (16) (19) (19) (21) (21) (21) (21) (25) (25) (31) (31) (31) (34) (34) (34)	49	(2)
			288		288	

6.2.2 Aanpak crosscase analyse

De volgende stap is de crosscase analyse, waarbij de resultaten van de Failure Cause Mandala categorisatie zijn uitgezet tegen de resultaten van de Geo-Impuls programma categorisatie. Hierbij is gekeken naar waar de oorzaken in beide categorisaties zijn ingedeeld. Dit is gedaan voor zowel de hoofdcategorieën (1^{ste}-graads oorzaken uitgezet tegen werkgroepen) als voor de subcategorieën (2^{de}-graads oorzaken uitgezet tegen projectvoorstellen).

Tabel 6.3: Meest relevante werkgroepen bij Failure Mandala categorisatie

Failure Mandala Categorie (totaal # per categorie)		Relevantie FM met GI	
		Percentueel (% van WG)	Absoluut (# van WG)
Poor value perception	(56)	12 (43%)	6 (29)
Insufficient analysis or research	(54)	4 (100%)	Overig (17)
Carelessness	(46)	2 & 9 (33%)	6 (15)
Poor concept	(46)	10 (60%)	6 (11)
Poor response to change in environment	(31)	6 (28%)	6 (31)
Misjudgment	(21)	3 & Overig (17%)	Overig (8)
Ignorance of procedure	(14)	10 (40%)	1 & 2 (3)
Organizational problems	(9)	1 (22%)	6 (4)
Ignorance	(6)	11 (100%)	6 & 11 (2)
Unknown cause	(5)	6 (5%)	6 (5)

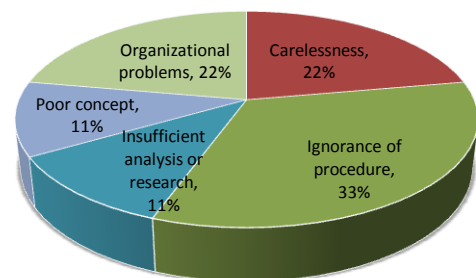
De crosscase analyse van de hoofdcategorieën had hierbij voldoende kwantiteit om naast de *absolute* resultaten (aantallen oorzaken) ook de valide *percentuele* resultaten (percentages ten opzichte van totalen) te bepalen. De resultaten van beide crosscase analyses zijn te vinden in bijlagen 19 en 20. Uit tabel 6.2 bleek al dat werkgroep 6 veruit het grootste aantal oorzaken van geotechnisch falen behandelt. Hierdoor zijn de absolute resultaten in tabel 6.3 vertekend. Dit is gecorrigeerd door de resultaten percentueel te bepalen (als percentage van het werkgroepstotaal). De op basis van tabel 5.3 gerangschikte Failure Mandala categorieën laat zien dat vooral de werkgroepen 6 en 10 erg belangrijk zijn, aangezien deze twee keer genoemd worden. Werkgroepen 12, 4 en 2 staan percentueel in de top drie. Werkgroepen 3, 5, 7, 8 en 9 zijn op basis van deze analyse niet het meest relevant bij het oplossen van minimaal één van de tien 1^{ste}-graads oorzaakscategorieën, gesteld door het Japan Science and Technology Agency (JST). De belangrijkste resultaten op basis van de crosscase analyse en deze vergelijking van abstract en percentueel worden in de volgende paragrafen besproken.

6.2.3 Resultaten crosscase analyse

Bij de crosscase vergelijking van hoofdcategorieën (1^{ste}-graads Failure Mandala oorzaken tegen werkgroepen Geo-Impuls programma, zie bijlage 19) en subcategorieën (2^{de}-graads Failure Mandala oorzaken tegen projectvoorstellen Geo-Impuls programma, zie bijlage 20) zijn de volgende resultaten naar voren gekomen:

- **Werkgroep 1: Risicoverdeling geotechniek in projecten**

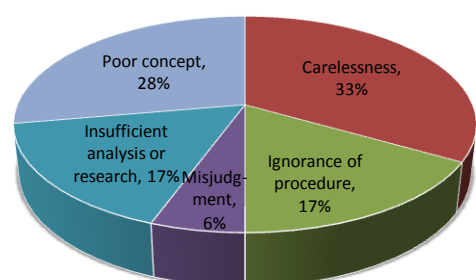
3 van de 9 oorzaken die werkgroep 1 aan zou kunnen pakken vallen in de categorie '**ignorance of procedure**'. Deze categorie is met 33% hiermee het meest relevante onderwerp voor deze werkgroep. 'Carelessness' en 'organizational problems' volgen met 22% relevantie (figuur 6.3).



Figuur 6.3: Aandachtspunten werkgroep 1

- **Werkgroep 2: Geo Communicatie Platform**

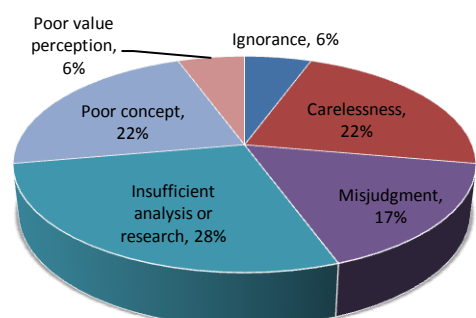
6 van de 18 oorzaken die werkgroep 2 aan zou kunnen pakken vallen in de categorie '**carelessness**'. Deze categorie is met 33% hiermee het meest relevante onderwerp voor deze werkgroep. 'Poor concept' volgt op de voet met 28% relevantie (figuur 6.4). Projectvoorstellen III-3 (*Opleiding /onderwijs*) en II-6 (*Imagoverbetering via Opleiding & Onderwijs*) dragen hierbij de volledige werkgroepscore van 18 oorzaken met respectievelijk 11 en 7 oorzaken. Projectvoorstel V-1 (Geo-communicatie Impuls) is hierbij niet relevant (0 oorzaken).



Figuur 6.4: Aandachtspunten werkgroep 2

- **Werkgroep 3: Grondonderzoek in de tenderfase**

5 van de 18 oorzaken die werkgroep 3 aan zou kunnen pakken vallen in de categorie '**insufficient analysis or research**'. Deze categorie is met 28% hiermee het meest relevante onderwerp voor deze werkgroep. 'Carelessness' en 'poor concept' volgen op de voet met 22% relevantie (figuur 6.5).

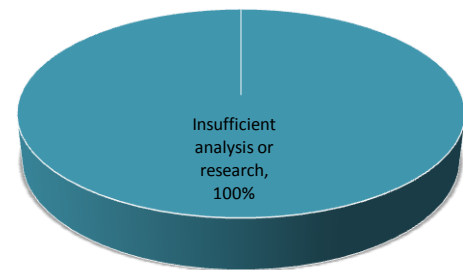


Figuur 6.5: Aandachtspunten werkgroep 3

- **Werkgroep 4: Verbeteren kwaliteitscontrole in de grond gevormde elementen**

2 van de 2 oorzaken die werkgroep 4 aan zou kunnen pakken vallen in de categorie **'insufficient analysis or research'**. Deze categorie is met 100% hiermee het enige relevante onderwerp voor deze werkgroep (figuur 6.6).

Projectvoorstel IV-4 (Verbeteren kwaliteitscontrole in de grond gevormde elementen door middel van monitoring) is hierbij het enige relevante projectvoorstel. Projectvoorstel II-4 (Diepwanden) is hierbij niet relevant (0 oorzaken).

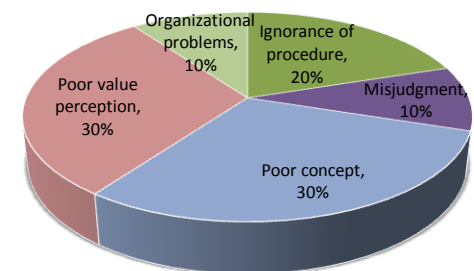


Figuur 6.6: Aandachtspunten werkgroep 4

- **Werkgroep 5: Contracteisen Geotechniek**

3 van de 10 oorzaken die werkgroep 5 aan zou kunnen pakken vallen in de categorie **'poor concept'**. Tevens vallen 3 andere oorzaken in de categorie **'poor value perception'**. Deze categorieën zijn met 30% hiermee de meest relevante onderwerpen voor deze werkgroep. 'Ignorance of procedure' volgt met 20% relevantie (figuur 6.7).

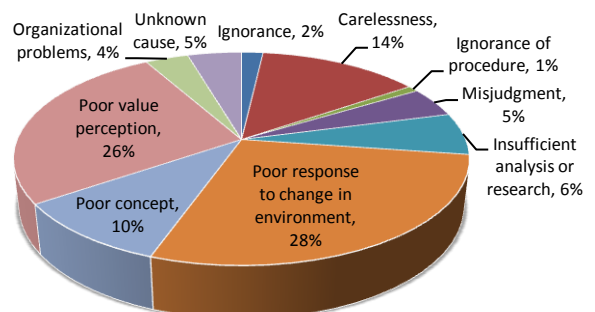
Projectvoorstel I-1 (Kwaliteitseisen in Contracten) is hierbij het enige relevante projectvoorstel. Projectvoorstel I-3 (Processeisen Geotechniek Vraagspecificatie) is hierbij niet relevant (0 oorzaken).



Figuur 6.7: Aandachtspunten werkgroep 5

- **Werkgroep 6: De ondergrond naar de voorgrond - GeoQ**

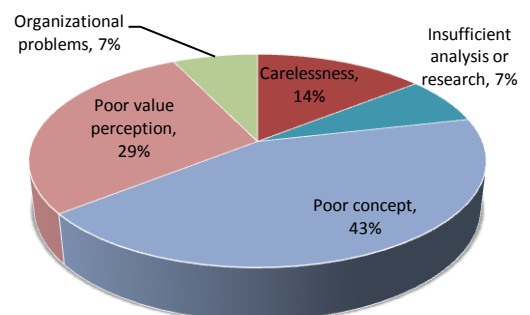
31 van de 110 oorzaken die werkgroep 6 aan zou kunnen pakken vallen in de categorie **'poor response to change in environment'**. Deze categorie is met 28% hiermee het meest relevante onderwerp voor deze werkgroep. 'Poor value perception' volgt op de voet met 26% relevantie (figuur 6.8). Projectvoorstel II-14 (Ondergronds Risicomanagement binnen Projecten) is hierbij het meest relevant met 50 oorzaken. Projectvoorstellen II-12 (Geotechniek in de Planfase), III-4 (Geotechnische Classificatie), V-3 (Geo-monitoring Impuls) en V-2 (Geo-start Impuls) volgen qua relevantie op een afstandje met respectievelijk 19, 14, 13 en 12 oorzaken. Projectvoorstel V-4 (Geo-kenniskracht Impuls) is minder relevant met 2 oorzaken.



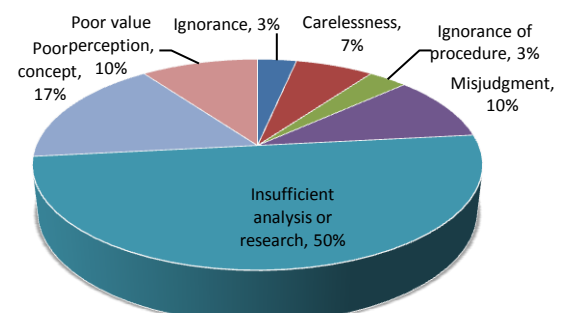
Figuur 6.8: Aandachtspunten werkgroep 6

- **Werkgroep 7: Kloof uitvoering - adviseur**

6 van de 14 oorzaken die werkgroep 7 aan zou kunnen pakken vallen in de categorie **'poor concept'**. Deze categorie is met 43% hiermee het meest relevante onderwerp voor deze werkgroep. 'Poor value perception' volgt op de voet met 29% relevantie (figuur 6.9). Projectvoorstellen III-2 (Kloof uitvoering - adviseur) en V-5 (Geo-uitvoeringstoets) zijn qua relevantie vrij gelijk aan elkaar met respectievelijk 9 en 5 oorzaken.

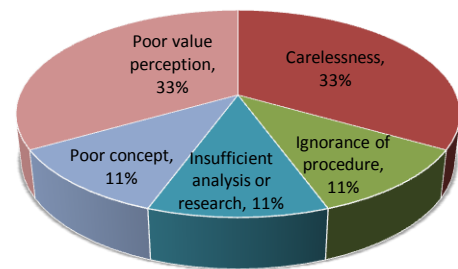


Figuur 6.9: Aandachtspunten werkgroep 7

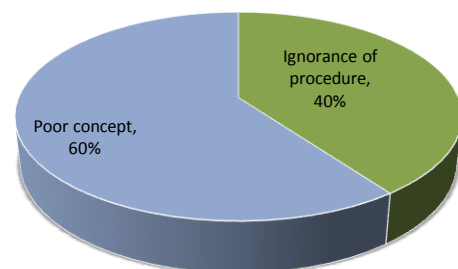


Figuur 6.10: Aandachtspunten werkgroep 8

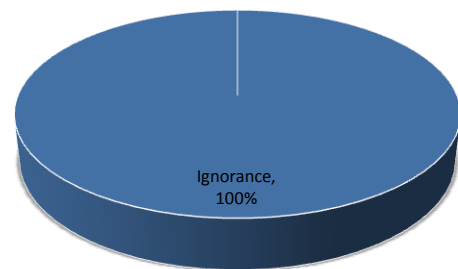
- Werkgroep 8: Betrouwbaar ondergrond model**
 15 van de 30 oorzaken die werkgroep 8 aan zou kunnen pakken vallen in de categorie **'insufficient analysis or research'**. Deze categorie is met 50% hiermee veruit het meest relevante onderwerp voor deze werkgroep. 'Poor concept' volgt pas met 17% relevantie (figuur 6.10).
- Werkgroep 9: Lange termijn metingen en modelverbetering**
 3 van de 9 oorzaken die werkgroep 9 aan zou kunnen pakken vallen in de categorie **'carelessness'**. Tevens vallen 3 andere oorzaken in de categorie **'poor value perception'**. Deze categorieën zijn met 33% hiermee de meest relevante onderwerpen voor deze werkgroep. 'Ignorance of procedure', 'insufficient analysis or research' en 'poor concept' volgen pas met 11% relevantie (figuur 6.11).
- Werkgroep 10: Showcase observational methods**
 3 van de 5 oorzaken die werkgroep 10 aan zou kunnen pakken vallen in de categorie **'poor concept'**. Deze categorie is met 60% hiermee het meest relevante onderwerp voor deze werkgroep. 'Ignorance of procedure' volgt met 40% relevantie (figuur 6.12).
- Werkgroep 11: International samenwerking**
 2 van de 2 oorzaken die werkgroep 11 aan zou kunnen pakken vallen in de categorie **'ignorance'**. Deze categorie is met 100% hiermee het enige relevante onderwerp voor deze werkgroep (figuur 6.13).
- Werkgroep 12: Opleiding en onderwijs**
 6 van de 14 oorzaken die werkgroep 12 aan zou kunnen pakken vallen in de categorie **'insufficient analysis or research'**. Deze categorie is met 43% hiermee het meest relevante onderwerp voor deze werkgroep. 'Poor concept' volgt met 29% relevantie (figuur 6.14). Projectvoorstel II-15 (Een vernieuwd GEONET) is hierbij het meest relevant met 12 oorzaken. Projectvoorstel II-3 (Promotie normen en Richtlijnen) is minder relevant met 2 oorzaken.
- Overig: [Niet in werkgroepen opgenomen projectvoorstellen]**
 17 van de 47 oorzaken die de overige projectvoorstellen aan zouden kunnen pakken vallen in de categorie **'insufficient analysis or research'**. Deze categorie is met 36% hiermee het meest relevante onderwerp voor deze werkgroep. 'Carelessness' en 'misjudgement' volgen met respectievelijk 26% en 17% relevantie (figuur 6.15).



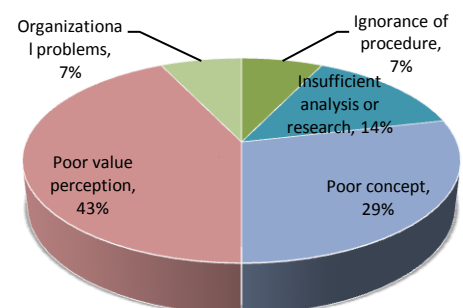
Figuur 6.11: Aandachtspunten werkgroep 9



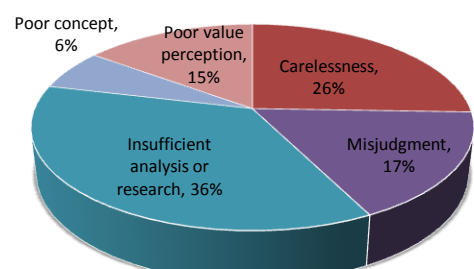
Figuur 6.12: Aandachtspunten werkgroep 10



Figuur 6.13: Aandachtspunten werkgroep 11



Figuur 6.14: Aandachtspunten werkgroep 12



Figuur 6.15: Aandachtspunten overige projectvoorstellen

Hierbij valt op te merken dat het totale aantal van 47 oorzaken in de overige projectvoorstellen 16% van de het totale aantal geïdentificeerde oorzaken betreft. Vooral projectvoorstel II-13 (Showcase Probabilistisch Plannen) draagt hier aan bij met 17 relevante oorzaken. De andere projectvoorstellen onder de noemer 'overig' hebben allen niet meer dan 5 relevante oorzaken. Projectvoorstellen II-9 (Toepassing innovatieve dijkversterkingstechnieken), IV-6 (Voorspelling naverdichting door inbrengen en uittrekken damwanden) en IV-10b (Modellering gedrag organische gronden) zijn zelfs helemaal niet relevant bevonden (0 oorzaken).

Het algemene beeld dat de resultaten schetsen is dat de dekkingsgraad van het Geo-Impuls programma, ten aanzien van het gericht oplossen van oorzaken van geotechnisch falen, 83% is. Dit wil zeggen dat 47 van de 288 geïdentificeerde oorzaken niet direct opgelost kunnen worden met de kennis en producten die het huidige Geo-Impuls programma (zonder de overige projectvoorstellen) momenteel ontwikkeld. Ondanks dit relatief hoge percentage dragen sommige werkgroepen en projectvoorstellen in mindere mate bij aan het verminderen van de oorzaakkwantiteit (bijlage 16). Op basis van deze resultaten zou nog eens een discussie moeten worden gestart over de relevantie van enkele van de overige projectvoorstellen in verhouding tot de huidige projectvoorstellen. Integratie van het overige projectvoorstel *Showcase Probabilistisch Plannen* (II-13) (bijlagen 12, 16 & 20) zou namelijk nog eens 17 van de eerder genoemde 47 oorzaken kunnen oplossen (tabel 6.4). De volgende paragraaf zal verder in gaan op de haalbaarheid van de Geo-Impuls doelstelling in 2015.

Tabel 6.4: Aantallen oorzaken die direct opgelost worden door overige projectvoorstellen

Nr.	Projectvoorstel	Aantal oorzaken dat voorstel direct aanpakt
II-13	Showcase probabilistisch plannen	17
II-5	Toepassing grondverbeteringstechnieken	5
II-2	Toepassing 'Zettingen Isotachen model, Soft Soil Creep Restzettingeisen en Contracten'	4
IV-7	Betere modellering gronddeformaties in EEM - (spoor)wegverbredingen	4
II-1	Laboratoriumonderzoek in DINO	3
II-11	Toepassing injectietechnieken	3
IV-9	Zettingsvloeiingen	3
V-6	Geo Product Impuls	3
IV-1	Robuust ontwerp van waterkeringen rond niet waterkerende objecten en overgangsconstructies	2
IV-10a	Modellering gedrag organische gronden – onverzadigd	2
II-10	'Meetgegevens breder beschikbaar maken'	1
IV-5	Bio-Bouwstoffen Levensduur	1
IV-10b	Modellering gedrag organische gronden	1
II-9	Toepassing Innovatieve dijkversterkingstechnieken	0
IV-6	Voorspelling naverdichting door inbrengen en uittrekken van damwanden	0
	Totaal	47

6.3 Haalbaarheid Geo-Impuls doelstelling

Deze laatste paragraaf tracht op basis van de gevonden resultaten een inschatting te geven van de haalbaarheid van de Geo-Impuls doelstelling. Vanuit het perspectief van eerdere onderzoeken uit het verleden is geprobeerd de betrouwbaarheid van de onderzoeksresultaten in te schatten. Op deze manier zal het voor Geo-Impuls gemakkelijker worden haar toekomstige beleid te verifiëren en valideren. Hiermee tracht deze paragraaf een antwoord te vinden op **deelvraag 6.3:**

Wat is de haalbaarheid van de Geo-Impuls doelstelling in 2015?

6.3.1 Theorie

De resultaten van dit onderzoek zijn wel uniek, maar staan niet op zichzelf. In het verleden hebben enkele andere studies ook geprobeerd een beeld te vormen van het ontstaan van geotechnisch falen bij bouwprojecten. Zo hebben Gue & Tan (2004) in hun artikel *Prevention of failures related to geotechnical works on soft ground* 55 gefaalde cases in Maleisië onderzocht welke specifiek op zachte en/of kleiachtige grond zijn gebouwd en als gevolg hiervan zijn bezwaken. Hierbij zijn case projecten onderzocht in verschillende 'mode of failures'. Zo zijn 37 projecten onderzocht waarbij sprake was van 'Damage due to Differential Settlement' en 18 projecten met 'Complete or Partial Failure (zie tabel 6.5). Volgens Gue & Tan zijn al deze fouten te

voorkomen als extra zorg en de inbreng van ingenieurs die de relevante ervaring in de geotechniek hebben zijn geraadpleegd.

Tabel 6.5: Oorzaken van geotechnisch falen volgens Gue & Tan (2004)

Categorie	Ontwerp	Constructie	Ontwerp & Constructie
Aantal cases	25	8	22
Percentage	45%	15%	40%
Oorzaken	Gebrek aan begrip en waardering van de ondergrond en geotechnische problemen in de vorm van onvoldoende evaluaties, analyses en controles op de verschillende manier van falen tijdens het ontwerp.	Slecht vakmanschap, materialen en/of een gebrek aan supervisie	[niet genoemd]

Sowers (1993) stelt in zijn artikel *Human factors in civil and geotechnical engineering failures* dat geotechnisch falen vooral een kwestie van menselijk falen is. Sowers stelt dat in slechts 12% van de gevallen er sprake is van ontbreken van kennis (*absence*). In veel andere gevallen is de benodigde kennis en technologie er wel, maar niet vindbaar voor de mensen die het nodig hebben (*ignorance*). In de meeste gevallen denken mensen het echter zelf wel te weten en vinden ze het aantrekken van extra kennis en technologie helemaal niet nodig (*rejection*)(zie tabel 6.6).

Tabel 6.6: Menselijke factoren in geotechnisch falen

Oorzaakclassificatie	Ontbreken van hedendaagse kennis of technologie	Onwetendheid van de heersende praktijk	Afwijzen van huidige technologie
Categorie	Absence	Ignorance	Rejection
Percentage	12%	33%	55%

Koerner & Soong (2001) (zoals geciteerd in Hossain et al., 2009) stellen dat bij de constructie van bijvoorbeeld mechanisch gestabiliseerde aarden dammen de belangrijkste oorzaken van falen vooral (1) de opvulling van de constructie met niet goed gedraineerde fijnkorrelige grond en (2) fouten van aannemers die voorkomen hadden kunnen worden met een gedegen kwaliteitscontrole en inspectie betreffen. Deze constructies falen vaak niet meteen, maar op momenten van zware regenval. De onderzoeken van Huang (1994), Rahardjo et al. (2001) & Pando et al. (2005) (zoals geciteerd in Haddad & Shafabakhsh, 2008) gaan hier op verder, door te stellen dat zware regenval de belangrijkste factor is, verantwoordelijk voor vele gefaalde hellingen inclusief versterkte aarden constructies. Dit onderzoek stelt echter dat zware regenval slechts een trigger is, die structurele oorzaken van falen bloot kan leggen.

Osterberg (1989) werpt daarom een ander, meer structureel perspectief op het probleem. In het artikel *Necessary redundancy in geotechnical engineering* stelt Osterberg namelijk dat geotechnische projecten bewust en onbewust te veel op de limiet worden ontworpen. Om economische redenen of een gebrek aan inzicht in de problemen die kunnen ontstaan, worden constructies in de ontwerpfase vaak te scherp ontworpen. Hierdoor ontstaat de kans op onderdimensionering en te weinig robuuste constructies. Tevens stelt Osterberg dat er weinig sprake is van oorzaken als gevolg van een gebrek aan theoretische basiskennis en praktische ontwerp-kennis. De feitelijke oorzaken van falen zijn volgens hem legio en kunnen (niet uitsluitend) worden toegeschreven aan de volgende oorzaak-categorieën:

- Onvoldoende ondergrondse exploratie
- Het niet kunnen waarderen of begrijpen van het grondgedrag op locatie
- Onzorgvuldigheid in ontwerpdetails
- Fouten in de constructie processen
- Gebrek aan voldoende en adequaat toezicht en inspectie
- Het niet kunnen herkennen van grondcondities, verschillend van aangegeven, verwacht of beide
- Het falen van de communicatie tussen veldpersoneel en degenen die verantwoordelijk zijn voor het ontwerp en de bouw.

Het bewust opzoeken van deze limieten wordt natuurlijk niet aangemoedigd, maar Gui & Han (2009) stellen in hun onderzoek naar het falen van kistdammen in Maleisië dat falen een belangrijke rol speelt bij het in de praktijk brengen van techniek en kennis van falen daarom belangrijk is, omdat het de limieten van een systeem laat zien. Haddad & Shafabakhsh (2008) stellen op soortgelijke manier dat via forensische studies van gefaalde projecten, ontwerpers kunnen leren dezelfde technische fouten niet nog eens te maken. Hierdoor zullen ze in staat zijn efficiëntere en veiligere constructies te bouwen.

Verschillende databases proberen om deze reden te voorzien in het beschikbaar stellen van de resultaten van case studies naar geotechnisch falen, ook wel forensische studies genoemd. Veel van deze databases stoppen echter weer een paar jaar nadat ze zijn opgericht. Meest bekende voorbeeld hiervan is het *AEPIC project* van de universiteit van Maryland. Deze database is in 1982 opgestart maakte gebruik van zogenaamde 'quick codes' waarmee het mogelijk was data snel en gemakkelijk terug te vinden. Ook was het mogelijk over langere tijd trends te ontdekken (Morro, 1991), zoals de Incidentenanalyse 2010 van Geo-Impuls nu ook probeert. In 1991 is het project echter weer stopgezet. De verzameling en verspreiding van ontwerp- en constructiekennis bleek moeilijk, maar waardeloos zodra het afgerond was (Morro, 1991). Eén mogelijke reden waarom zulke verzamelingen van informatie niet gebruikt worden is vanwege het ineffectief communiceren van de verzamelde faal kennis (Hatamura, 2005).

Verschillende onderzoeken (Yu *et al*, 2010; Yu *et al*, 2007; Hatamura, 2005; Allen, 1995; Stone & Blockley, 1993) hebben op basis van deze bevindingen getracht gebruiksvriendelijkere, proactievere modellen te ontwikkelen die de communicatie van deze kennis en ervaringen met falen effectiever moest maken. Onduidelijk is in hoeverre recente databases de conclusies van deze onderzoeken hebben meegenomen. Voorbeelden van recente initiatieven zijn de *Failure Knowledge Database* van het Japan Science and Technology Agency (Hatamura, 2005) en het *ABC-meldpunt* van TNO Bouw en Ondergrond. Dit laatste initiatief is min of meer vergelijkbaar met het huidige onderzoek, alleen gaat deze database meer over het identificeren van de oorzaken van constructief falen in plaats van geotechnisch falen. Daarnaast gebruikt het 'door professionals gemelde cases van falen' in plaats van wetenschappelijke case artikelen van falen. Het laat in ieder geval zien dat de door dit onderzoek gebruikte methodiek ook relevant is voor andere thema's (zoals constructieve veiligheid) binnen de bouwsector.

6.3.2 Praktijk

Wat projecttypes betreft is het creëren van een goede afspiegeling op de huidige Nederlandse gww-sector lastig. Onduidelijk is namelijk welke aantallen van de verschillende typen geotechnische projecten er in werkelijkheid binnen de gww-sector zijn gebouwd de laatste jaren en in welke verhouding deze staan tot elkaar. Voor dit onderzoek waren de aantallen en de beschikbaarheid van de wetenschappelijke artikelen per projecttype erg verschillend. Zo waren er bijvoorbeeld relatief erg veel forensische studies naar betonnen waterkeringen beschikbaar. Aangezien onduidelijk is in welke verhouding het aantal gerealiseerde waterkeringprojecten tot de overige Nederlandse gww-projecten staat is gekozen niet al deze studies in dit onderzoek mee te nemen. Op deze manier zou anders een vertekend beeld van de resultaten kunnen ontstaan. Cijfers omtrent de input van dit onderzoek zijn te vinden in bijlage 6.

Ondanks de onduidelijke verhoudingen binnen de Nederlandse gww-sector komen de resultaten van dit onderzoek goed overeen met de theoretische conclusies in paragraaf 6.3.2. Zo zijn bijvoorbeeld de vier belangrijkste oorzaken (samen goed voor 70% van al het falen) van geotechnisch falen volgens tabel 6.4; *Poor value perception, insufficient analysis or research, carelessness* en *poor concept* allemaal kennisgerelateerde, menselijke oorzaken van geotechnisch falen (zie ook bijlage 12).

Tabel 6.7 laat zien dat Geo-Impuls hier een andere visie op heeft. Op basis van de bij dit onderzoek bekende gegevens (zie bijlage 24) zijn de scores en werkgroepbudgetten uitgezet tegen de scores van de Geo-Impuls categorisatie van geïdentificeerde oorzaken uit dit onderzoek (bijlage 13).

Hieruit blijkt dat de scores uit de stickersessies van Geo-Impuls een redelijke correlatie hebben van 0.656 met de resultaten van dit onderzoek. De financiële correlatie is echter matig negatief, met een waarde van -0.160 voor het programmabureau budget en -0.167 voor het budget van de overige activiteiten. Een negatieve financiële correlatie betekent in dit geval dat er in de werkgroepen met de hoogste percentages relatief minder geïnvesteerd wordt dan in werkgroepen met lagere percentages (tabel 6.7).

Tabel 6.7: Correlatie werkgroepsscores en investeringen

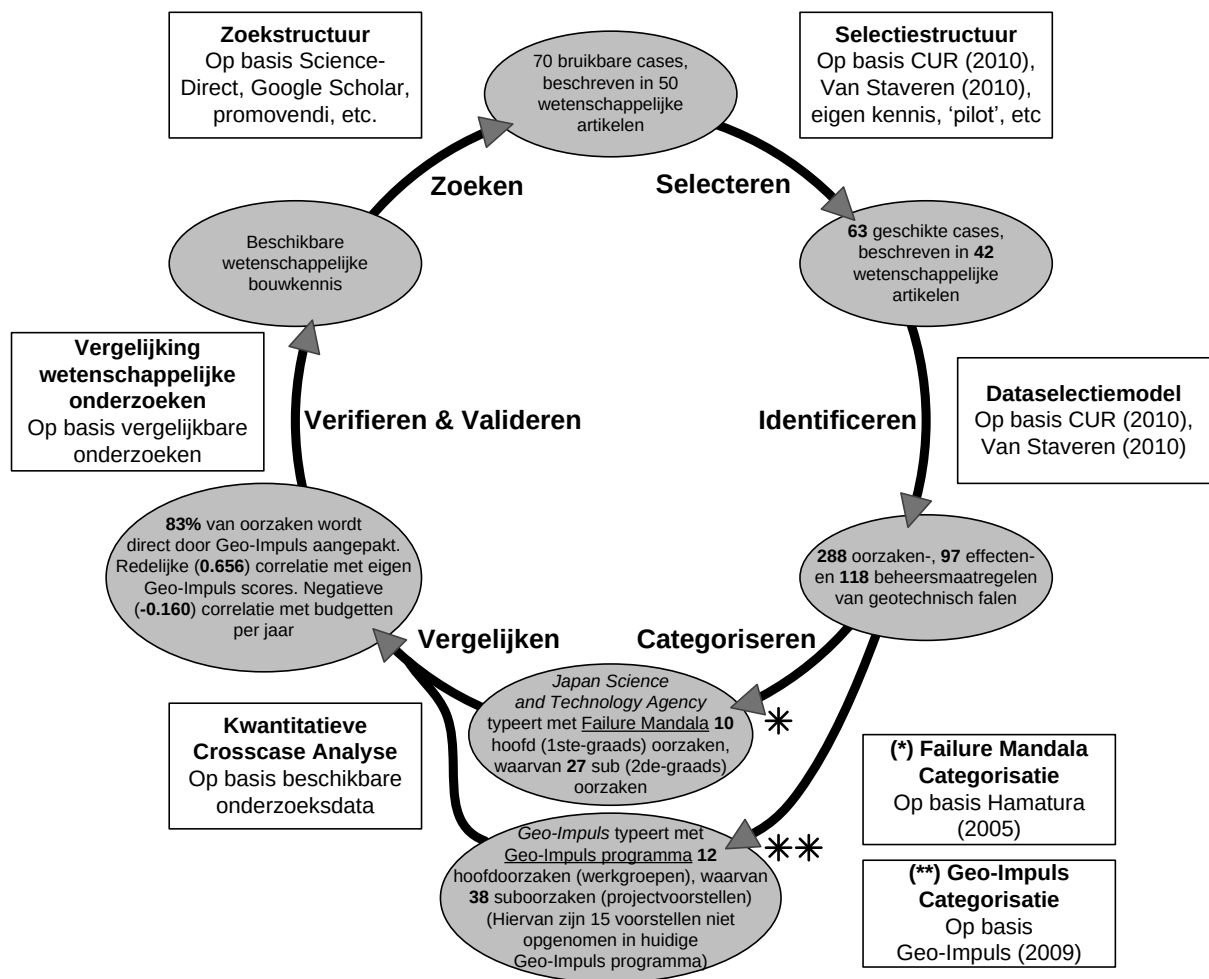
	Oorzaken per werkgroep (Volgens onderzoek)		Score per werkgroep (Stickersessie Geo-Impuls)		Investerings (Budget voor 6 jaar)	
	Aantal	Percentage	Score	Percentage	Programmabureau	Overige Activiteiten
1. Risicoverdeling geotechniek in projecten	9	3%	59	10%	4,300 €	38,700 €
2. Geo Communicatie Platform	18	6%	75	13%	138,500 €	1,246,500 €
3. Grondonderzoek in de tenderfase	16	6%	56	10%	6,000 €	54,000 €
4. Verb. kwaliteitscontrole i.d. grond gev. el.	2	1%	62	11%	175,000 €	1,575,000 €
5. Contracteisen Geotechniek	10	3%	61	11%	- €	75,000 €
6. De ondergrond naar de voorgrond – GeoQ	110	38%	102	18%	26,100 €	234,900 €
7. Kloof uitvoering - adviseur	14	5%	37	6%	25,000 €	225,000 €
8. Betrouwbaar ondergrond model	30	10%	28	5%	60,000 €	540,000 €
9. Lange termijn metingen en modelverb.	9	3%	27	5%	42,300 €	380,700 €
10. Showcase observational methods	5	2%	21	4%	46,000 €	414,000 €
11. Internationale samenwerking	2	1%	21	4%	30,000 €	270,000 €
12. Onderwijs en opleiding	14	5%	26	5%	77,500 €	697,500 €
Overig	49	17%	[onbekend]	[onbekend]		
Totaal	288	100%	575	100%	630,700 €	5,751,300 €
<i>Correlatie</i>				0.656	-0.160	-0.167

Zo heeft werkgroep 6 bijvoorbeeld een totaal budget van 261.000 euro per jaar, terwijl het voor 38% bij kan dragen aan het bereiken van de Geo-Impuls doelstelling. Ondanks dat dit onderzoek geen rekening heeft gehouden met de impact van iedere individuele oorzaak van geotechnisch falen en de impact van werkgroepen in de beheersing hiervan, kan dit betekenen dat er discrepanties bestaan tussen de verschillende werkgroepbudgetten. Voor deze conclusie heeft dit onderzoek echter niet genoeg kwalitatieve gegevens (schadelijke gevolgen per oorzaak) beschikbaar. Kwantitatief gezien (aangenomen dat iedere oorzaak dezelfde schadelijke gevolgen heeft) zouden theoretisch de volgende budgetten gekozen moeten worden voor een zo doelmatig mogelijke verdeling van de financiële middelen (tabel 6.8):

Tabel 6.8: Investerings gecorrigeerd naar correlaties

	Investerings huidige programma (6 jaarsbudget)		Totaalbudgetten			Investerings nieuwe situatie (6 jaarsbudget)	
	Programmabureau	Overige Act.	Huidig	Nieuw	Inclusief overig	Programmabureau	Overige Act.
1.	4,300 €	38,700 €	43,000 €	240,326 €	199,471 €	19,947 €	179,523 €
2.	138,500 €	1,246,500 €	1,385,000 €	480,653 €	398,942 €	39,894 €	359,047 €
3.	6,000 €	54,000 €	60,000 €	427,247 €	354,615 €	35,461 €	319,153 €
4.	175,000 €	1,575,000 €	1,750,000 €	53,406 €	44,327 €	4,433 €	39,894 €
5.	0 €	75,000 €	75,000 €	267,029 €	221,634 €	0 €	199,470 €
6.	26,100 €	234,900 €	261,000 €	2,937,322 €	2,437,977 €	243,798 €	2,437,977 €
7.	25,000 €	225,000 €	250,000 €	373,841 €	310,288 €	31,029 €	279,259 €
8.	60,000 €	540,000 €	600,000 €	801,088 €	664,903 €	66,490 €	598,412 €
9.	42,300 €	380,700 €	423,000 €	240,326 €	199,471 €	19,947 €	179,523 €
10.	46,000 €	414,000 €	460,000 €	133,515 €	110,817 €	11,082 €	99,735 €
11.	30,000 €	270,000 €	300,000 €	53,406 €	44,327 €	4,433 €	39,894 €
12.	77,500 €	697,500 €	775,000 €	373,841 €	310,288 €	31,029 €	279,259 €
Overig					1,084,940 €	108,494 €	976,446 €
Totaal	630,700 €	5,751,300 €	6,382,000 €	6,382,000 €	6,382,000 €	616,037 €	5,987,597.74 €
<i>Corr.</i>	-0.160	-0.167	-0.165	1.000	1.000	0.997	0.999

Wat doeltreffendheid betreft scoort Geo-Impuls dus redelijk goed. 83% van de geïdentificeerde oorzaken kunnen direct aangepakt worden door het huidige Geo-Impuls programma. 17% van deze oorzaken worden directer aangepakt door projectvoorstellen die op dit moment niet in het huidige programma zijn opgenomen. Hier liggen dus nog mogelijkheden. Wat doelmatigheid betreft kan alleen op kwantitatieve basis geconcludeerd worden dat er meer discussie en onderzoek nodig is. Er lijken namelijk discrepanties tussen de werkgroepbudgetten aanwezig te zijn, waardoor de doelmatigheid van deze werkgroepen in het geding komt. De resultaten komen verder goed overeen met andere onderzoeken en lijken hiermee dus betrouwbaar.



7 Conclusies

7.1 Geo-Impuls conclusies

De praktische conclusies hebben vooral betrekking op de beantwoording van de centrale onderzoeksvraag. Hiervoor worden eerst de antwoorden op eerste vijf deelvragen nog eens kort weergegeven:

1. Wat zijn de kenmerken van geotechnisch falen?

Geotechnisch falen is gekenmerkt als *'het niet doeltreffend en doelmatig leveren van de beoogde kwaliteit bij het realiseren van een bouwproject in of op de grond, met grondgerelateerde faalkosten als gevolg'*. Een duidelijk omschrijving van de definities *kwaliteit*, *faalkosten* en *schade* zijn hierbij gemaakt om het falen enigszins meetbaar te maken.

2. Welke wetenschappelijke cases voldoen aan de in deelvraag 1 beschreven kenmerken?

63 verschillende buitenlandse cases, beschreven in 42 verschillende wetenschappelijke artikelen, voldeden duidelijk aan de kenmerken van geotechnisch falen. De zoek- en selectiestructuur die hierbij zijn toegepast hebben vooral gezocht op enkele concrete zoektermen en de mogelijkheid of het project ook fysiek en/of geografisch in Nederland plaats moet kunnen vinden. Dit om een afspiegeling te creëren van de Nederlandse gww-sector.

3. Welke oorzaken van geotechnisch falen worden beschreven in de in deelvraag 2 geselecteerde cases?

288 verschillende oorzaken zijn geïdentificeerd uit de cases; 141 (49%) op micro-, 101 (35%) op meso- en 46 (16%) op macroniveau. Vooral de rubrieken projectorganisatie en professional scoren hoog, met respectievelijk 101 (35%) en 99 (34%) oorzaken. Gecategoriseerd volgens het *Failure Cause Mandala*-model van het Japan Science and Technology Agency (Hatamura, 2005) zijn *'poor value perception'*, *'insufficient analysis or research'*, *'carelessness'* en *'poor concept'* de meest frequent genoemde hoofdoorzaken van geotechnisch falen. *'Insufficient environmental study'* en *'poor strategy or concept'* zijn hierbij de meest frequent genoemde suboorzaken van geotechnisch falen.

4. Welke effecten van geotechnisch falen worden beschreven in de in deelvraag 2 geselecteerde cases?

97 verschillende effecten van geotechnisch falen zijn geïdentificeerd uit de cases. Categorisatie volgens de *Cobouw Incidenten Analyse 2010*-methode van Van Staveren (2010b) hebben veruit de meeste gevolgen betrekking op het gevolgtipe *kwaliteit* en zijn enkel de meest ernstige schades beschreven in de artikelen. Aangezien veel informatie m.b.t. de gevolgtypen *tijd*, *geld*, *veiligheid*, *reputatie* en *hinder* niet (volledig) door de artikelen zijn beschreven is besloten de beschreven effecten niet verder mee te nemen in dit onderzoek.

5. Welke beheersmaatregelen bij geotechnisch falen worden beschreven in de in deelvraag 2 geselecteerde cases?

118 verschillende beheersmaatregelen van geotechnisch falen zijn geïdentificeerd uit de cases. Wetenschappelijke categorisatie methoden zijn niet geïdentificeerd. Daarnaast bleken de meeste maatregelen een incidenteel karakter te hebben. Structurele, projectoverstijgende maatregelen zijn veel minder geïdentificeerd, waarop is besloten de beschreven beheersmaatregelen ook niet verder mee te nemen.

De laatste deelvraag, en hiermee centrale onderzoeksvraag van dit onderzoek was als volgt omschreven:

In welke mate sluit het huidige Geo-Impuls programma aan bij de belangrijkste oorzaken en beheersmaatregelen van geotechnisch falen?

83% van de 288 geïdentificeerde oorzaken van geotechnisch falen worden het meest direct aangepakt door het Geo-Impuls programma. De overige 17% wordt meer direct aangepakt door de overige projectvoorstellen,

welke niet zijn opgenomen in het Geo-Impuls programma. De doeltreffendheid van het huidige Geo-Impuls programma is hiermee goed, al kan deze mogelijk nog verbeterd worden door projectvoorstel II-13 (*Showcase probabilistisch plannen*) toe te voegen aan het huidige programma. Discrepancies tussen de werkgroepbudgetten in verhouding met het aantal oorzaken dat elke werkgroep in staat is aan te pakken laten zien dat ook de doelmatigheid van het programma mogelijk nog verbeterd kan worden. Kwantitatief gezien pakt werkgroep 6 (*De ondergrond naar de voorgrond*) namelijk met een beperkt budget 38% van de geïdentificeerde oorzaken aan. Hierbij zijn de precieze impact van de verschillende oorzaken van geotechnisch falen en de impact van de door de werkgroepen ontworpen beheersmaatregelen echter niet meegenomen i.v.m. een gebrek aan beschikbare praktijkinformatie en kennis.

De huidige Geo-Impuls projecten richten zich vooral op oorzaken met een individuele- (43%) en organisatorische aard (42%). Andersoortige oorzaken met bijvoorbeeld een externe aard worden veel minder aangepakt. Ondanks de hoge percentages zijn deze resultaten in lijn met meerdere onderzoeken. De Geo-Impuls aanpak 'risicogestuurd werken binnen de geotechniek' sluit hiermee goed aan op oorzaken van geotechnisch falen in de Nederlandse gww-sector. Ondanks de moeilijk vast te stellen haalbaarheid van de Geo-Impuls doelstelling '*halvering van geotechnisch falen in 2015*' kan er dus wel geconcludeerd worden dat Geo-Impuls met zijn doelmatigheid en doeltreffendheid al goed op weg is.

7.2 Wetenschappelijke conclusies

Menselijk handelen blijkt in zeker 85% van de gevallen aan de basis te liggen bij het ontstaan van geotechnisch falen. Dit menselijke aandeel in het ontstaan van geotechnisch falen is niet significant groter gebleken dan het menselijke aandeel in 'regulier' falen. De resulterende faalkosten zijn hiermee ook gerelateerd aan dit menselijke handelen van professionals en projectorganisaties. Vooral de inschatting van geotechnische risico's in vroege projectfasen blijkt voor veel problemen te zorgen, getuige de grote kwantitatieve significantie van de oorzaak categorieën '*poor value perception*', '*insufficient analysis or research*' en '*poor concept*'. De verwachte uitkomsten van geotechnische processen blijken in veel cases onrealistisch en onjuist, door bijvoorbeeld uit te gaan van minimale foutmarges in ontwerpen en perfect uitgevoerde bouwprocessen. Dit terwijl grondgedrag in de praktijk moeilijk blijkt te voorspellen en te modelleren, door zijn vaak grillige karakter.

Risicomanagement richt zich specifiek op deze menselijke verwachtingen. Hierdoor wordt ook wel eens gesproken over verwachtingsmanagement. Indien binnen risicomanagement ook bewust rekening wordt gehouden met 'het onverwachte', door middel van bijvoorbeeld *High Reliability Organizations*, kan het volledige spectrum van menselijk (on)verwachtingen worden verbeterd. Risicomanagement kan dus een belangrijke rol spelen in de beheersing van faalkosten, al zal menselijk falen in zeker mate altijd blijven bestaan als gevolg van inherente onzekerheden: *randomness*, *fuzziness* en *incompleteheid*.

Dit onderzoek laat tevens zien dat externe factoren, zoals extreme weersinvloeden en natuurlijke processen, slechts een beperkte rol spelen in het ontstaan van geotechnisch falen. Externe factoren moeten in de meeste gevallen slechts als *trigger* gezien worden van het falen. Ze zijn de druppel die de emmer doet overlopen. Een opstapeling van structurelere, onderliggende oorzaken van het falen zijn dan al geschied. De bouwsector en de wetenschap dienen deze bouwincidenten onder invloed van externe factoren dus niet af te doen als overmacht. Post-hoc analyse (ook wel *forensic analysis* of *back analysis* genoemd) kan juist in deze gevallen waardevolle informatie opleveren ten aanzien van de gebreken van een organisatie.

De hoogte van het geotechnische aandeel in het ontstaan van faalkosten nog onduidelijk. Wel acht dit onderzoek bewezen dat het grondgedrag binnen de realisatie van een bouwproject het moeilijkst te voorspellen is, getuige het grote aantal oorzaken van geotechnisch falen gerelateerd aan *poor value perception* en *insufficient analysis or research*. Beide oorzaakcategorieën geven aan dat de complexiteit van de ondergrond onvoldoende op waarde is geschat voor een gedegen realisatie van het project. Meer onderzoek is nodig om de daadwerkelijke impact (schadelijke gevolgen) van deze oorzaken op significantie te beoordelen.

8 Discussie & Aanbevelingen

8.1 Geo-Impuls

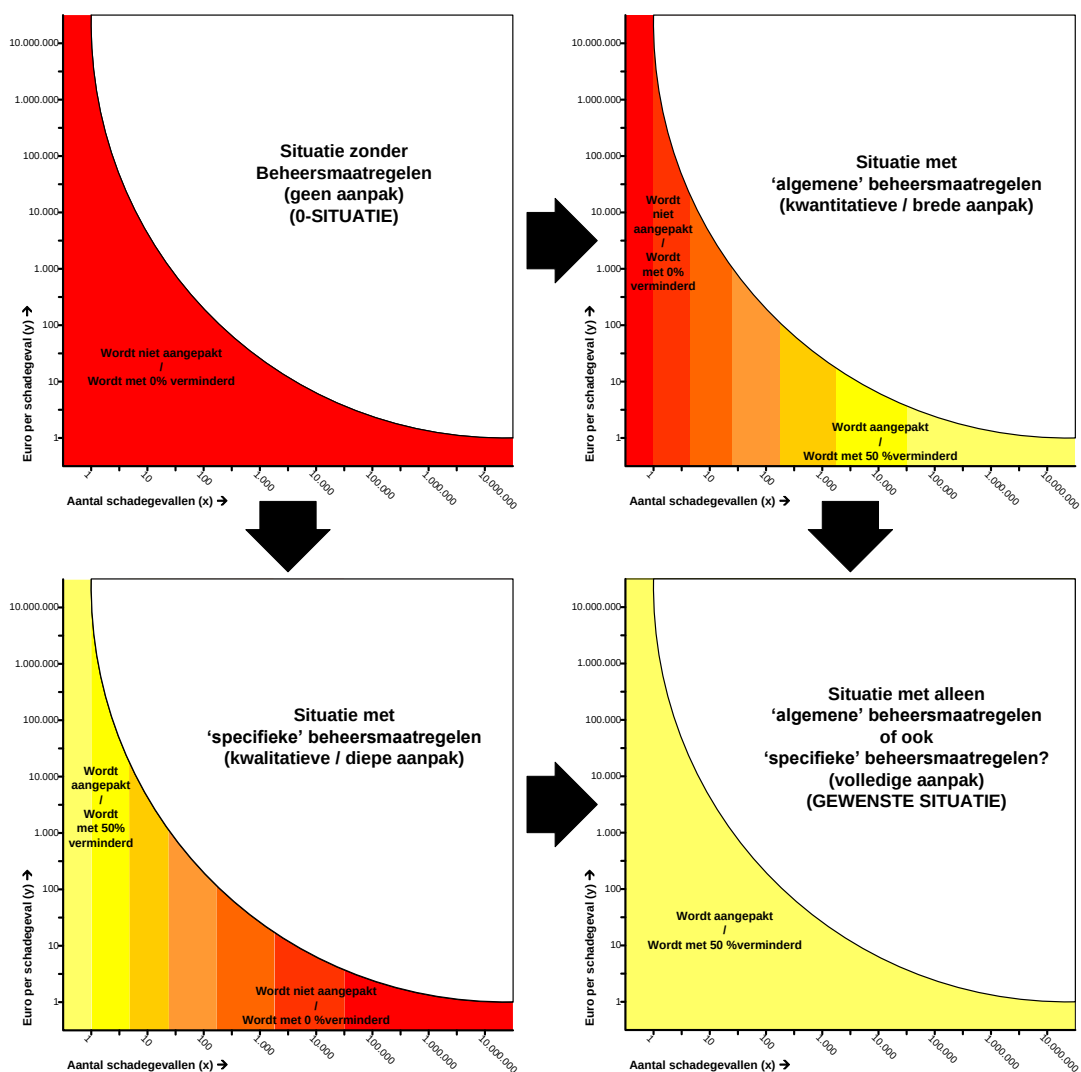
Dit onderzoek heeft binnen de mogelijkheden van tijd, beschikbare kennis en beschikbare middelen getracht de haalbaarheid van de Geo-Impuls doelstelling '*halvering van geotechnisch falen in 2015*' te toetsen. Deze mogelijkheden zijn nauwkeurig afgetast door middel van oriënterende interviews, literatuurstudies, pilots en overleg met experts en promovendi. Dit heeft geleid tot de huidige vorm van het onderzoek. Het meten van faalkosten en geotechnisch falen is in de praktijk zeer moeilijk, aangezien de significantie van deze onderwerpen onderhevig is aan verschillende percepties (zie ook Ronhaar, 2011). Om deze reden zijn er zo duidelijk en werkbaar mogelijke definities van geotechnisch falen en faalkosten opgesteld, op basis waarvan de cases zijn geselecteerd in dit onderzoek. Indien het opnieuw zou worden uitgevoerd door andere onderzoekers kan echter niet gegarandeerd worden dat dezelfde cases geschikt worden geacht. Hetzelfde geldt voor de hieruit geïdentificeerde oorzaken van geotechnisch falen. De grote kwantiteit van dit onderzoek beperkt echter deze foutmarge en vergroot de betrouwbaarheid. De niet meegenomen impact per oorzaak is echter de meest significantie beperking van dit onderzoek. Door het ontbreken van praktijkinformatie uit de pilotprojecten van Geo-Impuls bleek dit niet mogelijk. Het wetenschappelijke karakter van de artikelen maakte het eveneens onmogelijk een betrouwbaar en volledig beeld te krijgen van deze impact, aangezien dit vaak een juridisch vraagstuk is. De verschillende oorzaken van geotechnisch falen zijn daarom aan elkaar gelijk gesteld door ze te reduceren tot getallen. Enkel het *aantal* schadegevallen is geteld (kwantitatief onderzoek). De *impact* in euro's per schadegeval is niet meegenomen (kwalitatief onderzoek).

Indien Geo-Impuls zijn doelstelling beter meetbaar wil maken dient eerst een belangrijke discrepantie te worden opgelost. Onduidelijk is namelijk of de beoogde halvering zich richt op het *aantal* of de *impact* van het geotechnisch falen. In theorie zijn er namelijk veel incidenten met lage kosten en weinig incidenten met hoge kosten. Op basis van de in dit onderzoek gestelde kwantitatieve significanties van de werkgroepen zou werkgroep 6 (*De ondergrond naar de voorgrond*) dan getypeerd kunnen worden als 'algemene beheersmaatregel', welke in staat is een groot aantal van deze oorzaken van geotechnisch falen aan te pakken. Werkgroep 4 (*Kwaliteitscontrole in de grond gevormde elementen*) is bijvoorbeeld meer 'specifieke beheersmaatregel', welke in staat is slechts een klein aantal oorzaken van geotechnisch falen aan te pakken. Daarentegen zal het rendement van werkgroep 4 bij het verminderen van de zeer schadelijke gevolgen als gevolg van bijvoorbeeld lekkende damwanden bij de Noord-Zuidlijn te Amsterdam groter zijn dan dat van werkgroep 6. Het is onduidelijk óf en zo ja welke mix van beheersmaatregelen nu daadwerkelijk bij draagt aan het behalen van de Geo-Impuls doelstelling, grotendeels omdat onduidelijk is wát deze Geo-Impuls doelstelling nu precies inhoud (figuur 8.1).

Aanbevolen wordt dan ook om allereerst duidelijk te maken waar Geo-Impuls zich nu op richt. *Aantallen* geotechnische incidenten, de totale *impact* (faalkosten) van alle geotechnische incidenten bij elkaar opgeteld of beide. Hierna kan pas een betrouwbare discussie gestart worden in hoeverre Geo-Impuls zijn programma aan moet passen om zijn doelstelling te behalen. Op basis van deze doelstelling dient in ieder geval het rendement van de verschillende werkgroepen in de praktijk verder onderzocht te worden. Deze zijn nu alleen theoretisch (op basis van hun probleemstelling) onderzocht. Tevens kan het huidige onderzoek verbeterd worden door het instellen van een expertpanel, welke in staat is om de impact van geïdentificeerde oorzaken nauwkeurig te schatten. Ook kan gedacht worden aan een samenwerking met TNO Bouw en Ondergrond, om recentere binnenlandse incidenten gemeld via hun *ABC-meldpunt* te kunnen meenemen in een dergelijke analyse. De resultaten van deze onderzoeken moeten discussies met betrekking tot de herallocatie van middelen (werkgroepbudgetten) betrouwbaarder maken. Dit onderzoek heeft te weinig informatie beschikbaar gehad om hier waterdichte uitspraken over te kunnen doen.

8.2 Wetenschap

De wetenschap hanteert verschillende categorisaties bij het categoriseren van oorzaken van falen. Dit maakt de vergelijking van verschillende onderzoeksresultaten lastig, aangezien deze hiervoor 'vertaald' (omgezet) moeten worden naar eenzelfde soort categorisatie. Het Japan Science and Technology Agency (JST) heeft met hun *Failure Mandala* methode laten zien dat deze universeel toegepast kan worden. Waar het model bijvoorbeeld al in staat was om oorzaken van vliegtuigcrashes, nucleaire ongevallen en ICT-problemen te categoriseren blijkt het ook goed toepasbaar bij geotechnisch falen. De theorie en werkwijze van deze methode kan mogelijk van grote waarde zijn voor binnenlandse initiatieven om bijvoorbeeld kennisdatabases op te bouwen voor falen in de bouwsector. Meer onderzoek naar het rendement van deze initiatieven is echter wel nodig. Grote internationale initiatieven voor dergelijke databases, zoals het *AEPIC-project* zijn namelijk na enkele jaren weer stopgezet. Ondanks de niet in dit onderzoek meegenomen impact van het geotechnisch falen is het voor zover bekend wel het kwantitatief meest omvangrijke onderzoek. De resultaten kunnen daarom als uitgangspunt dienen voor verder onderzoek. Verder onderzoek dient zich dan vooral te richten op het in kaart brengen van de *kwantitatief* meest significante oorzaken van geotechnisch falen en bewezen rendementen van toegepaste projectoverstijgende beheersmaatregelen, aangezien dit de grootste *blind spots* zijn in het huidige onderzoek. Kwantitatief gezien sluiten de in dit onderzoek gepresenteerde resultaten echter goed aan bij eerder onderzoek naar falen bij bouwprojecten.



Figuur 8.1: Theoretische impact beheersmaatregelen

Literatuur

- Abbot, L. (1955). *Quality and competition*. New York: Columbia University Press.
- Abdul-Rahman, H. (1995). The cost of non-conformance during a highway project: a case study. *Construction Management and Economics*. 13, 23-32.
- Allen, D.E. (1995). Feedback Service for Reducing Losses Due to Building Problems. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 10 (2), 249-254.
- Asselt, M.B.A., van (2000). *Perspectives on uncertainty and risk: the PRIMA approach to decision support*, Dordrecht: Kluwer.
- Atkinson, A. (1996). Human error in the management of building projects. *Construction Management and Economics*. 16, 339-349.
- Atkinson, R. (1999). Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria. *International Journal of Project Management*. 19 (6). 337-342.
- Atkintoye, A.S. and MacLeod, M.J. (1997). Risk analysis and management in construction. *International Journal of Project Management*, 15 (1), 31-38.
- Aven, T. & Kristensen, V. (2005). Perspectives on risk: review and discussion of the basis for establishing a unified and holistic approach. *Reliability Engineering & System Safety*, 90 (1), 1-14.
- Avendaño Castillo, J.E. (2011). An expert-based investigation into the sources of failure costs in the Dutch construction industry. *To be published*.
- Barber, P., Graves, A., Hall, M., Sheath, D. & Tomkins, C. (2000). Quality failure costs in civil engineering projects. *International Journal of Quality & Reliability Management*. 17 (4/5), 479-492.
- Bea, R.G. (2006). "Reliability and Human Factors in Geotechnical Engineering." *Journal of Geotechnical and Geo-environmental Engineering* 132 (5): 631-643.
- Blockley, D.I. & Godfrey P. (2000). *Doing it differently: systems for rethinking construction*. Thomas Telford. United Kingdom
- Buzzell, R. & Gale, B. (1987). *The PIMS principles: Linking strategy to performance*. New York: Free Press.
- Cameron, K.S. & Whetten, D.A. (1983). *Organizational effectiveness: A comparison of multiple models*. New York: Academic Press.
- Campanella, J. (1994). *Principles of Quality Costs*. 3rd Edition. United States of America: Quality Press.
- Chapman, T.J.P. (2006). Key points of contention in framing assumptions for risk and uncertainty management. *International Journal of Project Management*, 24 (4), 303-313.
- Chapman, T.J.P., Staveren, M. Th. van., Stacey, T.R. & Hellings, J.E. (2007). Ground risk mitigation by better geotechnical design and construction management. *First International Symposium on Geotechnical Safety & Risk*. Tongji University, China.
- Claridge, T. (2004). 'Social Capital and Natural Resource Management', Unpublished Thesis, University of Queensland, Brisbane, Australia.
- Clayton, C. C. R. I. (2001). Managing geotechnical risk : improving productivity in UK building and construction. London, Thomas Telford Publishing.
- Crosby, P.B. (1979). *Quality is free: The art of making quality certain*. New York: New American Library.
- CUR (2010). Leren van geotechnisch falen. Gouda, Stichting CURNET. CUR rapport 227.
- Dam, van, A. (2009). *De kunst van het falen*. Derde druk. Amsterdam: AMBO
- Dorée, A.G. (2001). Dobberen tussen concurrentie en co-development, problematiek van samenwerking in de bouw. *Faculteit der Technologie en Management, Universiteit Twente*.
- Gehner, E. (2003). Risicoanalyse bij projectontwikkeling. Amsterdam: Uitgeverij SUN.
- Gilmore, H.L. (1974). *Product conformance cost*. Quality progress, 7 (5), 16-19.
- Feigenbaum, A.V. (1951). *Quality control: Principles, practice, and administration*. New York: McGraw Hill.
- Flyvbjerg, B., Bruzelius, N. & Rothengatter, W. (2003). *Megaproject and Risk: an anatomy of ambition*. New York: Cambridge University Press.
- Freudenberg, W.R. (1988). Perceived risk, real risk: social science and the art of probabilistic risk management. *Science, New Series*. 242 (4875), 44-49.
- Geo-Impuls (2009). Projectvoorstellen Geo Impuls. Tweede werksessie. 11 mei 2009. [Intern document]
- Grönroos, C. (1983). *Strategic management and marketing in the service sector*. Cambridge. MA: Marketing Science Institute.

- Gue, S.S., & Tan, Y.C. (2004). Prevention of Failures related to Geotechnical Works on Soft Ground. *Special Lecture, Proc. Of Malaysian Geotechnical Conference 2004*. Selangor, 59-73.
- Gue, M.W., & Han, K.K. (2009). An investigation on a failed double-wall cofferdam during construction. *Engineering Failure Analysis*. 16, 421-432.
- Haddad, A., & Shafabakhsh, G. (2008). Failure of segmental retaining walls due to the insufficiency of backfill permeability. *Proceedings of the 4th Asian Regional Conference on Geosynthetics. June 17-20, 2008*. Shanghai, China.
- Halman, J.I.M. (1994). Diagnosing risks in product innovation projects. *International Journal of Project Management*. 12 (7): 75-80.
- Halman, J.I.M., Al-Jibouri, S.H.S., Augustijn, R.M., Heijden, van der, W.L.F., Schaik, van, H.H.J., & Weisscher, V.J.T. (2008). *Risicomanagement in de bouw, nieuwe ontwikkelingen bij een aantal koplopers*. Universiteit Twente, Kennisplatform risicomanagement. Enschede: Aeneas.
- Hatamura, Y. (2005). Structure and Expression of Failure Knowledge Database. *Failure Knowledge Database Project*. Japan Science and Technology Agency (JST).
- Hoek, E. & Palmeiri, A. (1998). Geotechnical risks on large civil engineering projects. *International Association of Engineering Geologists*, Vancouver, Canada.
- Hossain, S., Omelchenko, V., & Mahmood, T. (2009). *Case history of geosynthetic reinforced segmental retaining wall failure*. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. 1-15.
- In 't Veld, J. (2007). *Analyse van organisatieproblemen*. (Achtste druk ed.). Noordhoff Uitgevers B.V.
- Juran, J.M. (1951). *Quality control handbook*. New York, McGraw-Hill
- Kahneman, D. & Tversky, A. (1979). Prospect theory: an analysis of decision under risk. *Econometrica*. 47 (2), 263-292.
- Kliem, R.L., & Ludin, I.S. (1997). *Reducing Project Risk*. Hampshire, United Kingdom: Gower.
- Knight, F.H. (2002). *Risk, uncertainty and profit*. United States of America: Beard Books.
- Kolb, D.A. (1985). *Learning style inventory (revised edition)*. Boston: McBer
- Levitt, T. (1972). Production-line approach to service. *Harvard Business Review*, 50 (5), 41-52.
- Love, P.E.D. & Irani, Z. (2003). A project management quality cost information system for the construction industry. *Information & Management*. 40, 649-661
- Love, P.E. & Edwards, D.J. (2005). Calculating total rework costs in Australian construction projects. *Civil Engineering and Environmental Systems*. 22 (1), 11-27.
- MacCrimmon, K.R. and Wehrung, D.A. (1986). *Taking risks: the management of uncertainty*, New York: Free Press.
- March, J.G., & Shapira, Z. (1987). *Managerial perspectives on risk and risk taking*. *Management Science*, 33, 1404-18.
- Miller, R. & Lessard, D. (2001). Understanding and managing risks in large engineering projects. *International Journal of Project Management*. 19 (8). 437-443
- Morro, R.H. (1991). Constructability Improvement: Making effective use of construction lessons learned. *University of Maryland*. 1-64.
- Nelisse, R.M.L., & Dieteren, G.G.A. (2009). Pilot-registratie ABC. Eindevaluatie van de technische aspecten.. *TNO Bouw en Ondergrond*. 1-19.
- Nelisse, R.M.L., & Dieteren, G.G.A. (2010). ABC2 – Registratie en analyse van bouwfouten. Periode 4: 1 juni 2010 – 31 december 2010. Jaarrapportage. *TNO Bouw en Ondergrond*. 1-26.
- Parasuraman, A., Zeithaml, V.A. & Berry, L.L. (1985). A conceptual model of service quality and its implications for future research. *Journal of Marketing*. 49, 41-50.
- Pender, S.F. (2001). Managing incomplete knowledge: Why risk management is not sufficient. *International Journal of Project Management*. 19, 79-87.
- Reeves, C.A. & Bednar, D.A. (1994). Defining Quality: Alternatives and Implications. *The Academy of Management Review*, 19 (3), 419-445
- Resodihardjo, G. (2010). *Multifunctionele Afbouwteams*. Technische Universiteit Delft. Masterscriptie Bouwkunde.
- Ronhaar, A.S. (2011). *Geotechnisch falen. Een verkenning naar de risicoperceptie onder professionals in de bouwsector ten aanzien van geotechnisch falen*. Universiteit Twente. Masterscriptie Construction Management and Engineering.

- Ross, P.J. (1989). *Taguchi techniques for quality engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Schiffauerova, A. & Thomson, V. (2006). A Review of Research on Cost of Quality Models and Best Practices. *International Journal of Quality and Reliability Management*. 23 (4), 1-23.
- Shrivastava, P., Mitroff, I.I., Miller, D. And Miglani, A. (1988). Understanding industrial crises. *Journal of Management Studies*, 25, 283-303.
- Sitkin, S.B., Pablo, A.L. (1992). *Reconceptualizing the determinants of risk behaviour*. The Academy of Management Review, 17 (1), 9-38.
- Smit, G. & Hamberg, J. (1995). Faalkosten bij middelgrote aannemersbedrijven. *Unpublished manuscript*. HTO, Zwolle. Instituut Midden en Kleinbedrijf Nederland.
- Stone, J.R., & Blockley, D.I. (1993). Hazard Engineering and the Management of Risk. *Uncertainty Modeling and Analysis*. 25, 180-185.
- Sowers, G.F. (1993). Human factors in civil and geotechnical engineering failures. *Journal of Geotechnical Engineering*. 119 (2), 238-256.
- Trenter, N. (2003). Understanding and containing geotechnical risk. *Proceedings of the ICE – Civil Engineering*. 156 (1), 42-48.
- Turner, J.R. & Müller, R. (2003). On the nature of the project as a temporary organization. *International Journal of Project Management*. 21 (1). 1-8.
- Van Duin, M. (2005). Leren van Instortingen. Presentatie Workshop 5 oktober 2010
- Van Staveren, M.Th. (2010a). *Geotechniek in beweging, een praktijkgids voor risico gestuurd werken*. 1^e druk. Enschede: Ipskamp Drukkers.
- Van Staveren, M.Th. (2010b). Cobouw Incidenten Analyse 2010. *Geo-Impuls*. 1-12
- Van Staveren, M.Th. (2009). Risk, Innovation & Change: Design Propositions for Implementing Risk Management in Organizations. Proefschrift. Universiteit Twente.
- Van Staveren, M.Th. (2006). *Uncertainty and Ground Conditions: A Risk Management Approach*. First edition. Butterworth-Heinemann, Oxford, UK.
- Van Staveren, M.Th. & Pereboom, D. (2006). *Inleiding Risicomanagement van de ondergrond*.
- Van Tol, A.F. (2008). Schadegevallen bij bouwputten. *Cement*. 6, 6-13.
- Verschuren, P. & Doorewaard, H. (2007). *Het ontwerpen van een onderzoek*. Druk 4. Boom Lemma uitgevers.
- Vlek, C. A.J. (1990). *Beslissen over risicoacceptatie*, Den Haag: Gezondheidsraad.
- Wearne, S. (2008). Organisational lessons from failures. *Proceedings of ICE – Civil Engineering*. 161, 4-7.
- Weick, K.E., & Sutcliffe, K.M. (2007). *Managing the Unexpected. Resilient Performance in an Age of Uncertainty*. 2nd Revised edition. John Wiley & Sons Inc.
- Well-Stam, D. van, Lindenaar, F., Kinderen, van, S., Bunt, van den, B.P. (2003). *Risicomanagement voor projecten: de RISMAN-methode toegepast*. Utrecht: Spectrum.
- Whitman, R.V. (2000). Organizing and Evaluating Uncertainty in Geotechnical Engineering. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 126 (7), 583-593.
- Wichers Hoeth, A.W. & Fleuren, K.G.A. (2001). De bouw moet om; op weg naar feilloos bouwen. Rotterdam: *Stichting Bouwresearch*. (SBR 491).
- Willams, T.M. (1996). The two-dimensionality of project risk, *International Journal of Project management*, 14(3): 185-186.
- Yu, W., Yang, J., Tseng, J.C.R., Liu, S., & Wu, J. (2010). Proactive problem-solver for construction. *Automation in Construction*. 19, 808-816.
- Yu, W., Yang, J., Tseng, J.C.R., & Yu, C (2007). Model of proactive problem-solving for construction knowledge management. 24th *International Symposium on Automation & Robotics in Construction (ISARC 2007)*. Construction Automation Group, I.I.T. Madras. 493-500.

(Voor de literatuurlijst van de geanalyseerde case artikelen, zie bijlage 4)

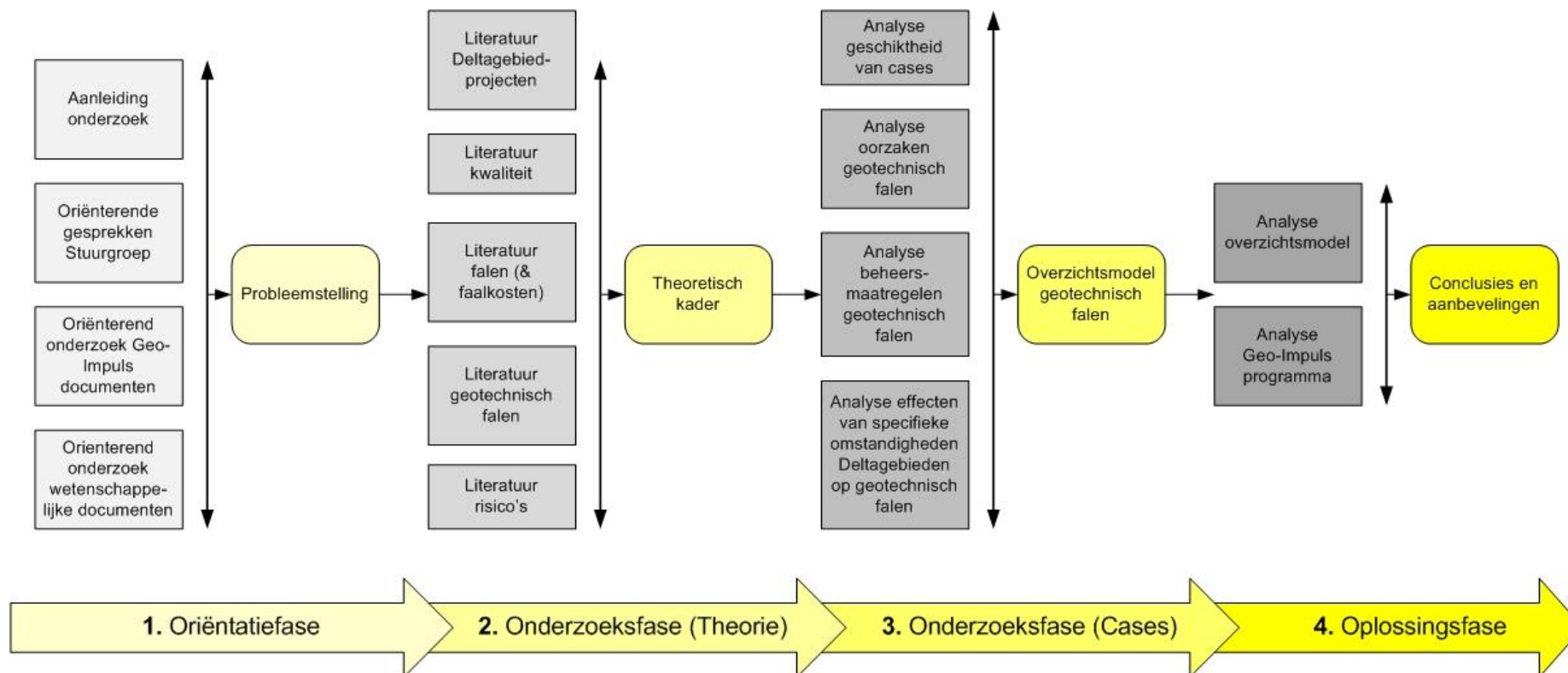
Websites

- BouwKennis (2010). Whitepaper Faalkosten.
Ontleend op 20 april 2011, van:
<http://www.bouwkennis.nl/>
- Deltacommissie (2008). Advies Rapport: Samen Werken met Water
Ontleend op 15 april 2011, van:
<http://www.deltacommissie.com/doc/2008-09-03%20Advies%20Deltacommissie.pdf>
- DeltaNeth (2011). Deltatechnologie.
Ontleend op 5 maart 2011, van:
<http://www.deltaneth.nl/>
- Projectbureau Noord/Zuidlijn (2008). Leckage diepwand Vijzelgracht.
Ontleend op 15 februari 2011, van:
<http://www.noordzuidlijn.amsterdam.nl/@147505/pagina/>
- PSI Bouw (2009). DURF 4. Aanbesteden en benchmarken.
Ontleend op 30 maart 2011, van:
www.psibouw.nl/details/kennis?m=files&doc_id=172
- Rijkswaterstaat (2011). *Deltagebied*. Beheer- en Ontwikkelplan voor de Rijkswateren
Ontleend op 13 april 2011, van:
http://www.rijkswaterstaat.nl/water/plannen_en_projecten/bprw/deltagebied/
- SBR (2011). *Wat zijn faalkosten*. Faalkosten in de bouw
Ontleend op 14 maart 2011, van:
<http://www.faalkostenindebouw.nl/watzijnfaalkosten.html>

Bijlagen

- Bijlage 1: Onderzoeksmodel
- Bijlage 2: Samenvatting kennismakingsgesprekken Stuurgroep
- Bijlage 3: Definiëring rubrieken (CUR, 2010)
- Bijlage 4: Geschikte wetenschappelijke case artikelen
- Bijlage 5: Dataselectie model (op basis van Incidentenanalyse 2010)
- Bijlage 6: Algemene case gegevens
- Bijlage 7: Geïdentificeerde oorzaken geotechnisch falen
- Bijlage 8: Geïdentificeerde gevolgen geotechnisch falen
- Bijlage 9: Geïdentificeerde beheersmaatregelen geotechnisch falen
- Bijlage 10: Totstandkoming Failure Mandala (Hatamura, 2005)
- Bijlage 11: Toelichting Failure Mandala (Hatamura, 2005)
- Bijlage 12: Toelichting Geo-Impuls programma
- Bijlage 13: Failure (Cause) Mandala categorisatie oorzaken geotechnisch falen
- Bijlage 14: Geo-Impuls categorisatie oorzaken geotechnisch falen
- Bijlage 15: Kwantitatief overzicht Failure Mandala categorisatie
- Bijlage 16: Kwantitatief overzicht Geo-Impuls categorisatie
- Bijlage 17: Kwantitatieve visuele weergave Failure Mandala categorisatie
- Bijlage 18: Kwantitatieve visuele weergave Geo-Impuls categorisatie
- Bijlage 19: Crosscase analyse 1^{ste}-graads oorzaken JST / Geo-Impuls
- Bijlage 20: Crosscase analyse 2de-graads oorzaken JST / Geo-Impuls
- Bijlage 21: Totstandkoming Geo-Impuls programma
- Bijlage 22: Probleemanalyse Geo-Impuls
- Bijlage 23: Gevormde Geo-Impuls projectvoorstellen
- Bijlage 24: Gevormde Geo-Impuls werkgroepen & Begroting
- Bijlage 25: Veelgebruikte definities in literatuur
- Bijlage 26: Risico's bij bouwprojecten
- Bijlage 27: Begripsbepalingen

Bijlage 1: Onderzoeksmodel



Bijlage 2: Samenvatting kennismakingsgesprekken Stuurgroep

<i>Naam: Bedrijf: Functie: Interview- onderwerp</i>	Dhr. Anemaat Rijkswaterstaat Directeur	Dhr. Van den Berg Deltares Sectordirecteur	Dhr. Van Tol Deltares Professor Fundering- technieken	Dhr. Huisman BAM Infraconsult RAMS- Risk and Systems Engineer	Dhr. Moll Strukton N.V. Directeur	Mevr. Van Olst IBA Amsterdam Directeur	Samenvatting
<i>Motivatie deelname:</i>	Rijkswaterstaat is de grootste opdrachtgever in Nederland in de gww-sector. Als publiek orgaan voelt men zich moreel verplicht de inzet van financiële middelen effectiever en efficiënter te maken.	Deltares is een kennisinstituut. Deltares is vooral betrokken als (technisch) adviseur. Deltares heeft dus kennisontwikkeling en verspreiding als motivatie en geen financiële motivatie. (belangrijk verschil!)	Idem.	Profiteren van de ontwikkelde Geo-Impuls producten en toepassen in eigen huidige projecten. Uiteindelijk zoekt BAM mogelijkheden voor financiële doeleinden, al denkt men dat Rijkswaterstaat financieel uiteindelijk nog het meeste wint.	Uit interesse voor samenwerking op gebied van Geotechniek, met als doel kennisontwikkeling en uitbreiden van het netwerk van specialisten. Dit dan toepassen in projecten.	IBA Amsterdam is een ingenieursbureau en is met name bezig met het ontwikkelen en toepassen van kennis. Door deelname meer kennis ontwikkeling op gebied van geotechniek.	Motivatie van de deelnemers lopen uiteen vanwege diverse redenen: financiën, imago, kennisontwikkeling. Bewustwording van geo problematiek is voor alle deelnemers een uitdaging, en doelstelling.
<i>Rol van de deelnemer:</i>	Voorzitter van Stuurgroep.	Managementteam-lid.	Voorzitter van kernteam.	Managementteam-lid	Managementteam-lid	Managementteam-lid	-
<i>Voortgang Geo-Impuls:</i>	Ziet veel werkgroepen moeite hebben met ontwikkelen van een PVA. Sommigen zijn al druk bezig, andere beginnen net. Maar er zijn inmiddels ook al nuttige opgeleverde producten.	Vooraf op managementniveau bezig, en constateert hetzelfde als dhr. Anemaat.	Eerste resultaten in pilotprojecten zichtbaar.	Vind de doelstelling erg ambitieus. Benieuwd in hoeverre dit behaald kan worden. Daarnaast doen veel Geo-Impuls deelnemers het er "even bij".	Vooraf op managementniveau bezig. Constateert hetzelfde als dhr. Anemaat.	Risico's betreffende geotechnisch falen worden beter geïnterpreteerd. Betrokken partijen worden bewuster en denken verder vooruit dan voorheen (gevolgen wordt beter op ingespeeld).	Deelname van zoveel diverse gerenommeerde bedrijven is al meerwaarde voor de bouwsector. Verdere ontwikkelingen realiseren in de werkgroepen is de volgende stap.
<i>Verwachtingen afstudeer- onderzoeken:</i>	Benieuwd naar resultaten.	Goed dat er studenten kijken naar het programma met een kritische blik.	Ziet graag dat we geotechnisch falen uitdrukken in cijfers, maar weet uit ervaring dat dit een lastige opgave is.	Is benieuwd naar de resultaten van de onderzoeken. Ziet zeker kansen voor de toekomst.	Benieuwd naar de resultaten. Ziet Geo-Impuls als verbindende factor.	Wordt er daadwerkelijk geleerd van geotechnisch falen? Wat zijn de leermomenten?	Alle deelnemers zijn benieuwd naar de resultaten.

Bijlage 3: Definiëring rubrieken (CUR, 2010)

De professional

De professional is een individu die een professionele taak uitvoert in het bouwproces. Dit kan een ontwerpende taak zijn van een geotechnisch adviseur, of een uitvoerende taak van bijvoorbeeld een heier. Van oorzaken van falen op het niveau van de professional is sprake als geen falen zou zijn opgetreden, als een andere persoon of een ander onderdeel van de organisatie de betreffende taak zou hebben uitgevoerd. De fout (door vergissing, onwetendheid, etc) van de professional (geotechnisch adviseur, uitvoerende) valt in deze categorie. Maar ook de beroepsfout van een gespecialiseerd adviesbureau of de heiploeg die slecht werk levert terwijl hun collega adviesbureau of ploeg in dezelfde omstandigheden dat niet doet.

De geotechniek

De geotechniek is de discipline van het ontwerpen en uitvoeren van geotechnische constructies in of op de grond. Oorzaken van falen van de geotechniek hebben betrekking op bijvoorbeeld de uit het slot gelopen damwand, geboorde palen met insnoering waardoor de vereiste draagkracht niet wordt bereikt, falende meetapparatuur, een lekkende voeg, andere grondslag of grondgedrag dan op basis van onderzoek verwacht.

De projectorganisatie

Onder de projectorganisatie wordt hier verstaan het geheel van organisatorische relaties dat, al dan niet verplicht, wordt aangegaan om de doelstellingen van het bouwproject te realiseren. Van oorzaken van falen op het niveau van de projectorganisatie is sprake als een andere projectorganisatie, door een andere taakverdeling, andere maatregelen in de zin van coördinatie, integratie, communicatieve, preventieve maatregelen, controle, monitoren en dergelijke, wel een goed resultaat had gerealiseerd. De projectorganisatie start met de opdrachtgever die de eerste aanzet geeft voor de inrichting van het proces. De projectorganisatie muteert en groeit lopende het proces door inkoop en delegatie van taken en verantwoordelijkheden. De projectorganisatie eindigt door overdracht van de grondconstructie of het bouwwerk aan een beheersorganisatie, welke de verantwoordelijkheid voor de grond of grondgebonden constructie overneemt.

De bouwsector

In de bouwsector werken opdrachtgevers, opdrachtnemers, ingenieursbureaus, toeleveranciers en kennisorganisaties aan het plannen, ontwerpen, realiseren en beheren van bouwprojecten. Van oorzaken van falen op het niveau van de sector is sprake in geval van bijvoorbeeld leemten in kennis, gebrekkige beroepsopleidingen, gebrekkige regelgeving en normering, slechte gewoonten (zoals focus op de laagste prijs). Deze generieke oorzaken van falen overstijgen het individu, de geotechniek en de projectorganisatie. Door onderzoek naar meerdere cases kunnen deze oorzaken worden getraceerd.

Externe oorzaken

Externe oorzaken van geotechnisch falen liggen buiten de directe invloedssfeer van de bouwsector. Deze oorzaken kunnen gelegen zijn in wet- en regelgeving (politieke) besluitvorming, beleid en dergelijke.

Bijlage 4: Geschikte wetenschappelijke case artikelen

Case				Publicatie		Auteur(s)	Medium	Editie/nr.	Nr.	Pagina's	Publiceerder
Artikel nr.	Case nr.	Volgnr.	Datum	Jaartal	Titel						
1	1	1	04 March 1992	1994	Investigation of failure of highway embankment founded on Colluvium and suggested stabilization measures for reconstruction	A.S. Al-Homoud, S.K. Saket, A.I. Husein, E.E. Alonso, A. Gens.	Engineering Geology	38		95-116	Elsevier
2	2	1	25 April 1998	2006	Aznalcollar dam failure. Part 1: Field observations and material properties	E.E. Alonso, A. Gens.	Géotechnique	56	3	165-183	ICE
3	2	2	25 April 1998	2006	Aznalcollar dam failure. Part 2: Stability conditions and failure mechanism	E.E. Alonso, A. Gens.	Géotechnique	56	3	185-201	ICE
4	2	3	25 April 1998	2006	Aznalcollar dam failure. Part 3: Dynamics of the motion	E.E. Alonso, A. Gens.	Géotechnique	56	3	203-210	ICE
5	3	1	01 January 1997	2009	Failure analysis and remedial measures applied to a RC water tank	P.A. Calderón, J.M. Adam, I. Payá-Zaforteza.	Engineering Failure Analysis	16		1674-1685	Elsevier
6	4	1	04 July 2004	2011	Failures of harbour walls at Malaga and Barcelona	J.M. Del Campo, V. Negro.	Engineering Geology and the Environment	70		1-6	Springer
6	5	1	01 January 2007	2011	Failures of harbour walls at Malaga and Barcelona	J.M. Del Campo, V. Negro.	Engineering Geology and the Environment	70		1-6	Springer
7	6	1		2010	The impact of groundwater on the excavation of tunnels in two different hydrogeological settings in central Italy	U. Chicchini, F. Castaldi.	Hydrogeology Journal				Springer
7	7	1		2010	The impact of groundwater on the excavation of tunnels in two different hydrogeological settings in central Italy	U. Chicchini, F. Castaldi.	Hydrogeology Journal				Springer
7	8	1		2010	The impact of groundwater on the excavation of tunnels in two different hydrogeological settings in central Italy	U. Chicchini, F. Castaldi.	Hydrogeology Journal				Springer
7	9	1		2010	The impact of groundwater on the excavation of tunnels in two different hydrogeological settings in central Italy	U. Chicchini, F. Castaldi.	Hydrogeology Journal				Springer
8	10	1	31 mei 1999	2001	Lessons learned from a segmental retaining wall failure	J.G. Collin	Geotextiles and Geomembranes	19		445-454	Elsevier
9	11	1	1 oktober 1979	1985	Underseepage at the Loy Yang Settling Pond Dam	S.J. Fletcher, I.V. Pedler.	Engineering Geology	22		71-81	Elsevier
10	12	1	1 januari 1971	1993	Progressive failure of lower San Fernando Dam	W.H. Gu, N.R. Morgenstern, P.K. Robertson.	Journal of Geotechnical Engineering	119	2	333-349	ASCE
11	13	1		2004	Prevention of Failures related to Geotechnical Works on Soft Ground	S.S. Gue, Y.C. Tan.	Special Lecture. Proc. Of Malaysian Geotechnical Conference, Selangor, Malaysia.			59-73	Springer
11	14	1		2004	Prevention of Failures related to Geotechnical Works on Soft Ground	S.S. Gue, Y.C. Tan.	Special Lecture. Proc. Of Malaysian Geotechnical Conference, Selangor, Malaysia.			59-73	Springer
11	15	1		2004	Prevention of Failures related to Geotechnical Works on Soft Ground	S.S. Gue, Y.C. Tan.	Special Lecture. Proc. Of Malaysian Geotechnical Conference, Selangor, Malaysia.			59-73	Springer
11	16	1		2004	Prevention of Failures related to Geotechnical Works on Soft Ground	S.S. Gue, Y.C. Tan.	Special Lecture. Proc. Of Malaysian Geotechnical Conference, Selangor, Malaysia.			59-73	Springer
12	17	1		2009	An investigation on a failed double-wall cofferdam during construction	M.W. Gui, K.K. Han.	Engineering Failure Analysis	16		421-432	Elsevier
13	18	1	28 februari 2006	2008	Failure of segmental retaining walls due to the insufficiency of backfill permeability	A. Haddad, G. Shafabakhsh.	Proceedings of the 4th Asian Regional Conference on Geosynthetics, Shanghai, China.			852-856	Springer
14	19	1	1 januari 1975	1981	Bank failure and erosion on the Ohio river	D.J. Hagerty, M.F. Spoor, C.R. Ullrich.	Engineering Geology	17		141-158	Elsevier
15	20	1	1 juni 2003	2009	Case history of Geosynthetic reinforced segmental retaining wall failure	S. Hossain, V. Omelchenko, T. Mahmood.	Electronic Journal of Geotechnical Engineering	14	Bundle C	1-15	EIGE
16	21	1	23 februari 2005	2005	Stability of landfills - The Bandung dumpsite disaster	F. Koelsch, K. Fricke, C. Mahler, E. Damanhuri.	Werkgroep voor het gebruik van stedelijk afval		Juni	1-9	Waste-to-Energy Research and Technology Council
17	22	1	1 januari 1965	2008	Back-analyses of landfill slope failures	N. Huvaj-Sarihan, T.D. Stark.	6th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, Arlington, VA, August 11-16.		2.34	1-7	University of Illinois at Urbana-Champaign
17	23	1	28 april 1993	2008	Back-analyses of landfill slope failures	N. Huvaj-Sarihan, T.D. Stark.	6th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, Arlington, VA, August 11-16.		2.34	1-7	University of Illinois at Urbana-Champaign
17	24	1	15 januari 1998	2008	Back-analyses of landfill slope failures	N. Huvaj-Sarihan, T.D. Stark.	6th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, Arlington, VA, August 11-16.		2.34	1-7	University of Illinois at Urbana-Champaign
17	25	1	10 juli 2000	2008	Back-analyses of landfill slope failures	N. Huvaj-Sarihan, T.D. Stark.	6th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, Arlington, VA, August 11-16.		2.34	1-7	University of Illinois at Urbana-Champaign
18	26	1	20 oktober 1994	2000	The collapse of NATM tunnels at Heathrow Airport (geciteerd in: Safety During Construction - Kolymas (2005))	Health & Safety Executive	HSE Books				Crown
19	27	1	1 januari 1996	2004	Deformation and failure of the Tymfristos Tunnel, Greece	V. Kontogianni, A. Tzortzis, S. Stiros.	Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering	130	10		ASCE
20	28	1	19 september 1991	2011	The submergence accident at the tunnel of Kokubugawa River diversion channel	M. Kunishima, S. Tsukahara.	Failure Knowledge Database			1-7	Japan Science and Technology Agency (JST)
21	29	1	29 mei 2004	2010	Forensic diagnosis of a shield tunnel failure	W.F. Lee, K. Ishihara.	Engineering Structures	32		1830-1837	Elsevier
22	30	1		2005	Collapse of a reinforced soil segmental retaining wall	C.S. Lim, S.M. Tan.	IEM-GSM Oktoberforum 2005: Case Histories in Engineering Geology and Geotechnical Engineering, 4th Oct. 2005, Petaling Jaya			1-9	
23	31	1	1 januari 1987	2010	Forensic analysis of a pile foundation failure	F. López Gayarre, C. González-Nicieza, M.I. Alvarez-Fernández, A.E. Álvarez-Vigil.	Engineering Failure Analysis	17		486-497	Elsevier

Case				Publicatie		Auteur(s)	Medium	Editie/nr.	Nr.	Pagina's	Publiceerder
Artikel nr.	Case nr.	Volgnr.	Datum	Jaartal	Titel						
24	32	1	2 mei 1998	2010	Forensic analysis of buildings affected by mining subsidence	F. López Gayarre, M.I. Alvarez-Fernández, C. González-Nicieza, A.E. Álvarez-Vigil, G. Herrera García.	Engineering Failure Analysis	17		270-285	Elsevier
25	33	1		2010	Failure analysis of natural gas pipes	Z.A. Majid, R. Mohsin, Z. Yacoub, Z. Hassan.	Engineering Failure Analysis	17		818-837	Elsevier
26	34	1	11 december 1995	2000	Forensic investigation of the failure of an interceptor sewer, sea cliff area, San Francisco, California	E.W. Medley.	Water Environment Federation Anaheim, CA October 2000				Proceedings of WEFTEC 2000
27	35	1	1 april 1959	1987	The Vajont Slide	L. Muller-Salzburg	Engineering Geology	24		513-523	Elsevier
28	36	1		1989	Necessary Redundancy in Geotechnical Engineering	J.O. Osterberg.	Journal of Geotechnical Engineering	115	11	1513-1531	ASCE
28	37	1		1989	Necessary Redundancy in Geotechnical Engineering	J.O. Osterberg.	Journal of Geotechnical Engineering	115	11	1513-1531	ASCE
28	38	1		1989	Necessary Redundancy in Geotechnical Engineering	J.O. Osterberg.	Journal of Geotechnical Engineering	115	11	1513-1531	ASCE
28	39	1		1989	Necessary Redundancy in Geotechnical Engineering	J.O. Osterberg.	Journal of Geotechnical Engineering	115	11	1513-1531	ASCE
28	40	1		1989	Necessary Redundancy in Geotechnical Engineering	J.O. Osterberg.	Journal of Geotechnical Engineering	115	11	1513-1531	ASCE
28	41	1		1989	Necessary Redundancy in Geotechnical Engineering	J.O. Osterberg.	Journal of Geotechnical Engineering	115	11	1513-1531	ASCE
28	42	1		1989	Necessary Redundancy in Geotechnical Engineering	J.O. Osterberg.	Journal of Geotechnical Engineering	115	11	1513-1531	ASCE
28	43	1		1989	Necessary Redundancy in Geotechnical Engineering	J.O. Osterberg.	Journal of Geotechnical Engineering	115	11	1513-1531	ASCE
29	44	1	12 januari 2007	2008	Examining 2007 Sao Paulo city subway line-4 construction site accident	A.M.A. Pinto,	Proceedings of The 2008 IAUC-IME International Conference	IT 302	231	1-7	International Association of Journals and Conferences (IAJC)
30	45	1		2010	Chapter 1: Interaction between neighbouring structures	A.M. Puzrin, E.E. Alonso, N.M. Pinyol.	Geomechanics of Failures			3-22	Springer Science + Business Media B.V.
31	46	1		2010	Chapter 2: Unexpected excessive settlements	A.M. Puzrin, E.E. Alonso, N.M. Pinyol.	Geomechanics of Failures			23-43	Springer Science + Business Media B.V.
32	47	1		2010	Chapter 3: Leaning instability	A.M. Puzrin, E.E. Alonso, N.M. Pinyol.	Geomechanics of Failures			45-64	Springer Science + Business Media B.V.
33	48	1	18 oktober 1913	2010	Chapter 4: Bearing capacity failure	A.M. Puzrin, E.E. Alonso, N.M. Pinyol.	Geomechanics of Failures			67-84	Springer Science + Business Media B.V.
34	49	1	10 november 2001	2010	Chapter 5: Caisson failure induced by liquefaction	A.M. Puzrin, E.E. Alonso, N.M. Pinyol.	Geomechanics of Failures			85-148	Springer Science + Business Media B.V.
35	50	1	20 april 2004	2010	Chapter 6: Braced excavation collapse	A.M. Puzrin, E.E. Alonso, N.M. Pinyol.	Geomechanics of Failures			151-181	Springer Science + Business Media B.V.
36	51	1	26 juni 1991	2010	Chapter 7: Tunnel excavation collapse	A.M. Puzrin, E.E. Alonso, N.M. Pinyol.	Geomechanics of Failures			183-203	Springer Science + Business Media B.V.
37	52	1	1 januari 1989	2010	Chapter 8: Tunnel face instability	A.M. Puzrin, E.E. Alonso, N.M. Pinyol.	Geomechanics of Failures			205-243	Springer Science + Business Media B.V.
38	53	1	19 maart 2006	2009	Behavior of a landslide prior to inducing a viaduct failure	D.A. Salcedo	Engineering Geology	109		16-30	Elsevier
39	54	1	5 juni 1976	1987	The failure of Teton dam	H.B. Seed, J.M. Duncan.	Engineering Geology	24		173-205	Elsevier
40	54	2	5 juni 1976	1993	Human factors in civil and geotechnical engineering failures	G.F. Sowers.	Journal of Geotechnical Engineering	119	2	238-256	ASCE
40	55	1		1993	Human factors in civil and geotechnical engineering failures	G.F. Sowers.	Journal of Geotechnical Engineering	119	2	238-256	ASCE
40	56	1		1993	Human factors in civil and geotechnical engineering failures	G.F. Sowers.	Journal of Geotechnical Engineering	119	2	238-256	ASCE
41	26	2	20 oktober 1994	1999	Heathrow failures highlight NATM (abuse?) misunderstandings	S. Wallis.	Tunnel	3		66-72	
42	57	1	1 januari 1955	1994	Vertical breakwaters: the Italian experience	L. Franco.	Coastal Engineering	22		31-55	Elsevier
42	58	1	1 januari 1966	1994	Vertical breakwaters: the Italian experience	L. Franco.	Coastal Engineering	22		31-55	Elsevier
42	59	1	1 januari 1972	1994	Vertical breakwaters: the Italian experience	L. Franco.	Coastal Engineering	22		31-55	Elsevier
42	60	1	1 januari 1974	1994	Vertical breakwaters: the Italian experience	L. Franco.	Coastal Engineering	22		31-55	Elsevier
42	61	1	11 januari 1987	1994	Vertical breakwaters: the Italian experience	L. Franco.	Coastal Engineering	22		31-55	Elsevier
42	62	1	24 november 1991	1994	Vertical breakwaters: the Italian experience	L. Franco.	Coastal Engineering	22		31-55	Elsevier
42	63	1	20 december 1991	1994	Vertical breakwaters: the Italian experience	L. Franco.	Coastal Engineering	22		31-55	Elsevier

Bijlage 5: Dataselectie model (op basis van Incidentenanalyse 2010)

Wat is/zijn de/het ... ?	Antwoordmogelijkheden	Opmerking/classificatie
[kenmerk]	[kenmerktype]	[-]
Geografische ligging	Land / Staat / Provincie / Stad / Gebied	Geografisch , zie 4.3.1
Type constructie	- Bouwputten - Ondergrondse leidingen of rioleringen - Funderingen - Wegen - Tunnels - Overige	Fysiek , zie 4.3.1
Type incidenten	- Bezwijken (instorten) - Deformaties (verzakkingen, zettingen, opdrijven) - Lekkage - Overige	
Type opdrachtgever	- Publiek - Privaat - Overig	
Type opdrachtnemer	- Groot (>250 werkn, > 50 miljoen omzet) - Middelgroot - Klein (<50 werkn, < 10 miljoen omzet)	<i>Definities van grootte, zoals bepaald door Europese Commissie in 2005</i>
Genoemde oorza(a)k(en)		<i>Zie hoofdstuk 4</i>
Type niveau / rubriek, oorzakelijk aan incident	- Micro - o Professional - o Geotechniek - Meso - o Projectorganisatie - Macro - o Bouwsector - o Externe factoren	
Type gevolgen, op het gebied van ...	- Veiligheid (score) - o Licht gewonden (1) - o Zwaar gewonden (2) - o Doden (3) - Kwaliteit - o Cosmetische schade (1) - o Functioneel onbruikbaar (2) - o Instorting (3) - Reputatie - o Negatieve berichtgeving (1) - o Koersdaling / Publieke berisping (2) - o Faillissement / Ontslag (3) - Geld - o < €100.000 (1) - o €100.000 < €1.000.000 (2) - o > €1.000.000 (3) - Tijd - o < 0.5 jaar (1) - o 0.5 < 1 jaar (2) - o > 1 jaar (3) - Hinder - o Beperkt / Kort (1) - o Zwaar / Langdurig (2) - o Tijdelijk andere huisvesting (3)	<i>Ook wel genoemd als 'effecten' (Van Staveren, 2010b) en 'schade' (CUR, 2010).</i>
Genoemde beheersmaatregel(en)		<i>Zie hoofdstuk 4</i>

Bijlage 6: Algemene case gegevens

Deel 1 van 3: Geografische ligging, type constructie & type geotechnisch incident

Case		Locatie		Type constructie		Type geotechnisch incident			
Art. Nr.	Nr.	Volgnr.	Land	Plaats/Staat	Naam	Type	Type (indien 'Overige')	Naam	Type
1	1	1	Jordanie	Jerash	Irbid-Amman highway	(Snel)weg		Verzakken heiling	Deformatie
2	2	1	Spanje	Aznalcóllar	Aznalcóllar dam	(Stuw)dam		Instorten dam	Bezwijking
3	2	2	Spanje	Aznalcóllar	Aznalcóllar dam	(Stuw)dam		Instorten dam	Bezwijking
4	2	3	Spanje	Aznalcóllar	Aznalcóllar dam	(Stuw)dam		Instorten dam	Bezwijking
5	3	1	Spanje		[Drinkwater-opslagtank]	Fundering		Verschuiven muur watertank	Deformatie
6	4	1	Spanje	Malaga	Containerkade nr. 8	Overige	Kademuur	Verschuiven kademuur	Deformatie
6	5	1	Spanje	Barcelona	Prat kade	Overige	Kademuur	Verschuiven kademuur	Deformatie
7	6	1	Italië	Nera Montoro - Narni	Santa Croce tunnel	Tunnel		Indringen grondwater	Lekkage
7	7	1	Italië	Ortona - Casalbordino	Moro tunnel	Tunnel		Indringen grondwater en modder in tunnel	Lekkage
7	8	1	Italië	Ortona - Casalbordino	S. Giovanni tunnel	Tunnel		Indringen grondwater en modder in tunnel	Lekkage
7	9	1	Italië	Ortona - Casalbordino	Diavolo tunnel	Tunnel		Indringen grondwater en modder in tunnel	Lekkage
8	10	1			Gesegmenteerde steunmuur	Overige	Grondkerende muur	Verzakken steunmuur	Deformatie
9	11	1	Australië	Traralgon	Loy Yang Settling Pond Dam	(Stuw)dam		Kwel onder dam opslagvijver	Lekkage
10	12	1	V.S.	San Fernando	San Fernando Dam	(Stuw)dam		Progressief bezwijken dam	Bezwijking
11	13	1			'Dijk A'	(Stuw)dam		Verzakken dijk	Deformatie
11	14	1			'Dijk B'	(Stuw)dam		Verzakken dijk	Deformatie
11	15	1	Maleisie	Sarawak	'Bridge foundation'	Fundering		Verzakken fundering	Deformatie
11	16	1	Maleisie	Klang	Tijdelijke damwandmuur	Bouwput		Verschuiven damwandmuur	Deformatie
12	17	1	Maleisie		Retentiebekken	(Stuw)dam		Verschuiven damwanden	Deformatie
13	18	1	Iran	Teheran	Gesegmenteerde grondkerende muur	Overige	Grondkerende muur	Instorten deel grondkerende muur	Bezwijking
14	19	1	V.S.	Ohio	Rivierbedding Ohio River	Overige	Rivierbedding	Instorten en eroderen rivierbedding	Bezwijking
15	20	1	V.S.	Rockville, Maryland	Gesegmenteerde grondkerende muur	Overige	Grondkerende muur	Instorten deel grondkerende muur	Bezwijking
16	21	1	Indonesië	Bandung	Leuwigajah dumpsite	Overige	Stortplaats	Verschuiven deel vulnisberg	Deformatie
17	22	1	Polen	Warsaw	Gnojna Grora landfill	Overige	Stortplaats	Verschuiven deel vulnisberg	Deformatie
17	23	1	Turkije	Istanbul	[Vulstort]	Overige	Stortplaats	Verschuiven deel vulnisberg	Deformatie
17	24	1	Israël	Tel-Aviv	Hiriya waste dump	Overige	Stortplaats	Verschuiven deel vulnisberg	Deformatie
17	25	1	Filippijnen	Quezon City	Payatas landfills	Overige	Stortplaats	Verschuiven deel vulnisberg	Deformatie
18	26	1	Groot-Brittannië	Londen	Heathrow Express Link Project	Tunnel		Instorten deel tunnel	Bezwijking
19	27	1	Griekenland	Karpenisi	Tymfristos tunnel	Tunnel		Instorten deel tunnel	Deformatie
20	28	1	Japan	Matsudo City	Kokubugawa River diversion channel	Tunnel		Tijdelijke dam bezwijkt waardoor tunnel overstroomt	Bezwijking
21	29	1	Taiwan	Kaohsiung	Kaohsiung Mass Rapid Transit System	Tunnel		Verzakking grond boven tunnel als gevolg van lekkage	Lekkage
22	30	1	Kuala Lumpur	Setapak area	Reinforced soil segmental retaining wall	Overige	Grondkerende muur	Instorting grote delen van muur	Bezwijking
23	31	1	Spanje	Gijón	Paalfundering	Fundering		Progressief verzakken grond en fundering	Deformatie
24	32	1	Spanje	La Unión	Funderingen van een industrieterrein	Fundering		Progressief verzakken van grond	Deformatie
25	33	1	Maleisie		Pijpleiding voor gastransport	Ondergrondse leiding		Gaslek	Lekkage
26	34	1	V.S.	San Francisco	Stenen riolering	Riolering		Sea Cliff Incident	Lekkage
27	35	1	Italië	Vajont	Stuwdam	(Stuw)dam		Rand stuwmeer bezwijkt	Bezwijking
28	36	1	V.S.	Lake Bonneville	Fundering voor kantoar betonfabriek	Fundering		Verzakking grond onder fundering	Deformatie
28	37	1			Fundering voor betonfabriek	Fundering		Ontoereikend geotechnisch onderzoek	Overige
28	38	1	V.S.	Peoria	Fundering voor fabriek	Fundering		Ontoereikend geotechnisch onderzoek	Overige
28	39	1	V.S.	Milwaukee	Paalfundering voor brug	Fundering		Ontoereikend geotechnisch onderzoek	Overige
28	40	1	V.S.		(Sectie van) Interstate Highway	(Snel)weg		Ontoereikend geotechnisch onderzoek	Overige
28	41	1	V.S.	Milwaukee	Fundering voor hoogbouw	Fundering		Ontoereikend geotechnisch onderzoek	Overige
28	42	1	V.S.		Diepe kelder voor stadshal	Bouwput		Bezwijking grondkerende muur	Bezwijking
28	43	1	V.S.	Indiana	Tijdelijke brugfundering	Fundering		Verzakken grond, waardoor betonnen voet bezweek	Deformatie
29	44	1	Brazilië	Sao Paulo	Metropolitan subway yellow line-4 construction site	Tunnel		Instorten deel muur en plafond van tunnel	Bezwijking
30	45	1	Mexico	Mexico City	Metropolitan Cathedral	Fundering		Interactie naburige constructie; progressief zakken fundering	Deformatie
31	46	1	Japan	Osaka	Kansai International Airport	Fundering		Onverwachte buitensporige verzakking	Deformatie
32	47	1	Italië	Pisa	The Tower of Pisa	Fundering		Leun-instabiliteit	Deformatie
33	48	1	Canada	Transcona	Transcona Grain Elevator	Fundering		Wegzakken constructie in de grond	Deformatie
34	49	1	Spanje	Barcelona	Afzinkbare betonnen kistdam voor haven Barcelona	Overige	Golfbreker	Verzakken kistdam tot onder waterspiegel	Deformatie
35	50	1	Singapore	Singapore City	Nicol Highway	(Snel)weg		Instorten tunnelafgraving	Bezwijking
36	51	1	Spanje	Barcelona	Borras Square	Tunnel		Instorten deel tunnel bij afgraving	Bezwijking
37	52	1	Spanje	La Floresta	Floresta Tunnels	Tunnel		Instorten grond in kop van tunnels	Bezwijking
38	53	1	Venezuela	Caracas	Caracas-La Guaira highway	(Snel)weg		Progressief verzakken en instorten brug	Bezwijking
39	54	1	V.S.	Idaho	Teton dam	(Stuw)dam		Piping	Lekkage
40	54	2	V.S.	Idaho	Teton dam	(Stuw)dam		Piping	Lekkage
40	55	1	V.S.	Florida	Grote deels ondergrondse parkeergarage	Bouwput		Ontstaan van zettingen in damwanden en fundering	Deformatie
40	56	1	V.S.	Florida	Nieuwe riolering	Riolering		Verzakken naastgelegen pand	Deformatie
41	26	2	Groot-Brittannië	Londen	Heathrow Express Link Project	Tunnel		Instorten deel tunnel	Bezwijking
42	57	1	Italië	Genoa	Genoa breakwater	Overige	Golfbreker	Verzakken/-schuiven waterkering	Deformatie
42	58	1	Italië	Ventotene	Ventotene breakwater	Overige	Golfbreker	Verzakken/-schuiven waterkering	Deformatie
42	59	1	Italië	Palermo	Palermo breakwater	Overige	Golfbreker	Verzakken/-schuiven waterkering	Deformatie
42	60	1	Italië	Bari	Bari breakwater	Overige	Golfbreker	Verzakken/-schuiven waterkering	Deformatie
42	61	1	Italië	Naples	Duca D'Aosta breakwater	Overige	Golfbreker	Verzakken/-schuiven waterkering	Deformatie
42	62	1	Italië	Gela	Gela breakwater	Overige	Golfbreker	Verzakken/-schuiven waterkering	Deformatie
42	63	1	Italië	Bagnara	Bagnara breakwater	Overige	Golfbreker	Verzakken/-schuiven waterkering	Deformatie

Deel 2 van 3: Type opdrachtgever, -bouwbedrijf, -architect & -overige partij

Case		Type opdrachtgever	Type bouwbedrijf	Type architect	Type overige partij	Info
Art. Nr.	Nr. Volgnr.	Naam	Type	Naam	Type	
1	1	-	-	-	-	-
2	2	-	-	-	-	-
3	2	-	-	-	-	-
4	2	-	-	-	-	-
5	3	-	-	-	-	-
6	4	-	-	-	-	-
6	5	-	-	-	-	-
7	6	-	-	-	-	-
7	7	Vianini-Porto Torre Union	Publiek	Italian Ferrovie dello Stato	Groot	-
7	8	Vianini-Porto Torre Union	Publiek	Italian Ferrovie dello Stato	Groot	-
7	9	Vianini-Porto Torre Union	Publiek	Italian Ferrovie dello Stato	Groot	-
8	10	-	-	-	-	-
9	11	State Electricity Commission of Victoria	Publiek	-	-	-
10	12	-	-	-	-	-
11	13	-	-	-	-	-
11	14	-	-	-	-	-
11	15	-	-	-	-	-
11	16	-	-	-	-	-
12	17	Department of Irrigation and Drainage Malaysia	Publiek	-	-	-
13	18	-	-	-	-	-
14	19	-	-	-	-	-
15	20	-	-	-	-	-
16	21	City of Bandung, District of Bandung & City of Cimahi	Publiek	-	-	-
17	22	-	-	-	-	-
17	23	-	-	-	-	-
17	24	-	-	-	-	-
17	25	-	-	-	-	-
18	26	-	-	-	-	-
19	27	-	-	-	-	-
20	28	-	Tobishima Construction Company & Shimizu Construction Company	Groot	-	-
21	29	-	-	-	-	-
22	30	-	-	-	-	-
23	31	-	-	-	-	-
24	32	-	-	-	-	-
25	33	-	-	-	-	-
26	34	-	-	-	-	-
27	35	-	-	-	-	-
28	36	-	-	-	-	-
28	37	-	-	-	-	-
28	38	-	-	-	-	-
28	39	-	-	-	-	-
28	40	State Highway Department	Publiek	Klein	-	-
28	41	-	-	-	-	-
28	42	-	-	-	-	-
28	43	-	-	-	-	-
29	44	State of Sao Paulo	Publiek	Consórcio Via Amarela	Groot	Companhia do Metropolitano de Sao Paulo Leider van consortium
30	45	-	-	-	-	-
31	46	-	-	-	-	-
32	47	-	-	-	-	-
33	48	Canadian Pacific Railway Company	-	-	-	-
34	49	-	-	-	-	-
35	50	-	-	-	-	-
36	51	-	-	-	-	-
37	52	-	-	-	-	-
38	53	-	Campeon Bernard Enterprise	Campeon Bernard Enterprise	-	-
39	54	-	-	-	-	-
40	54	2	-	-	-	-
40	55	-	-	-	-	-
40	56	-	Balfour Beatty	Groot	Geoconsult	Middel
41	56	2	-	-	-	-
42	57	-	-	-	-	-
42	58	-	-	-	-	-
42	59	-	-	-	-	-
42	60	-	-	-	-	-
42	61	-	-	-	-	-
42	62	-	-	-	-	-
42	63	-	-	-	-	-

Deel 3 van 3: Algemene verdeling jaartal van publicatie, landen, constructietypen, incident- & oorzaaktype

Jaartal van publicatie		Onderzochte landen		Constructie		Incident		Oorzaken	
Publicatiejaar	Aantal cases	Land	Aantal cases	Type	Aantal	Type	Aantal	Type	Aantal
2011	3	Australië	1	Bouwput	3	Bezwijking	18	Professioneel	99
2010	16	Brazilië	1	Ondergrondse leidin	1	Deformatie	34	Geotechnisch	42
2009	4	Canada	1	Riolering	2	Lekkage	10	Organisatorisc	101
2008	6	Filipijnen	1	Fundering	14	Overige	5	Bouwsector	10
2007	0	Griekenland	1	(Snel)weg	4			Extern	36
2006	3	Indonesië	1	Tunnel	12				
2005	2	Iran	1	(Stuw)dam	11				
2004	5	Israel	1	Overige	20				
2003	0	Italië	13						
2002	0	Japan	2						
2001	1	Jordanië	1						
2000	2	Kuala Lumpur	1						
1999	1	Maleisië	4						
1998	0	Mexico	1						
1997	0	Polen	1						
1996	0	Singapore	1						
1995	0	Spanje	11						
1994	8	Taiwan	1						
1993	4	Turkije	1						
1992	0	V.S.	14						
1991	0	Venezuela	1						
1990	0	Verenigd Koninkrijk	2						
1989	8								
1988	0	Onbekend	5						
1987	2								
1986	0								
1985	1								
1984	0								
1983	0								
1982	0								
1981	1								
Totaal	67	Totaal	67	Totaal	67	Totaal	67	Totaal	288

Bijlage 7: Geïdentificeerde oorzaken geotechnisch falen

Case Nr.	Volgnummer	Code	Microniveau 1. De Professional	Code	2. De Geotechniek	Code	Mesoniveau 3. De Projectorganisatie	Code	Macroniveau 4. De Bouwsector	Code	5. Externe Factoren
1	1	1.1.1.1.5	The absence of surface and sub-surface drainage contributed to the saturation and to the temporarily high pore water pressure	1.1.2.1.5	Old landslide movements and faults in the area reduced the structural stability of the material					1.1.5.1.5	Exceptionally heavy rainfall and snow over a period of one month. The annual rainfall was the highest over the last 50 years
2	1			2.1.2.1.7	The stability of the clay foundation was controlled by only one material: the highly plastic and brittle Guadalquivir clay, which had a strong potential for progressive failure						
2	2			2.2.2.1.7	The homogeneous nature and very low permeability of the foundation clay and the natural state of the clay, which reduced the available strength along						
2	3										
3	1	3.1.1.1.4	The walls were insufficiently protected against sliding	3.1.2.1.4	Joints at the floor slab of the tank have opened, creating uplift pressure and reducing the real Safety Factor						
3	1	3.1.1.2.4	Effect of the presence of PVC sheeting between the foundation and the soil on the Safety Factor was not considered in the								
4	1	4.1.1.1.8	Much of the fill beneath the wharf was placed on mud which had not been fully appreciated at investigation/initial			4.1.3.1.8	Insufficient dredging of the soft material beneath the wharf area				
4	1	4.1.1.2.8	Inadequate thickness of the support strip			4.1.3.2.8	Too rapid a placement of the fill				
5	1	5.1.1.1.8	The first phase was to act as a breakwater while the second phase was protected by the breakwater and hence was designed as a gravity structure	5.1.2.1.8	The tidal environment, as well as the variable pressure imposed on the structure by waves, was difficult to model	5.1.3.1.8	The phases and the transformation from breakwater to quay, filling, consolidation and paving where put out to tender separately, with a slight time lag				
5	1	5.1.1.2.8	The nature of the hydraulically placed fill was not adequately studied and it was placed very quickly to meet operational	5.1.2.2.8	The balance of effective and neutral stresses may cause ground liquefaction and siphoning	5.1.3.2.8	The caisson and fill works were undertaken by different companies and there were different site managers				
5	1	5.1.1.3.8	The fills were placed commencing at the landward side, such that a lake was created inside the new structure								
5	1	5.1.1.4.8	Drain spillways were not provided								
5	1	5.1.1.5.8	In the initial phase, when the structure was built as a breakwater, there was no rear rubble mound, consequently the loading on the monolithic structure was greater than anticipated in the design								
5	1	5.1.1.6.8	The caisson acted as a dam, hence the pressures were higher than anticipated at								
6	1			6.1.2.1.6	Complex hydrogeological settings, not sufficiently evaluated in the planning phases						
7	1			7.1.2.1.6	A body of grey fine sands and silts with high internal pressure was hit, which resulted in an abundant inflow of water and mud inside the pre-cast tunnel						
8	1	8.1.1.1.6	Sandy-muddy materials not recognised during the design phases were encountered			8.1.3.1.6	The grey fine sands and silts are intercalated in the muddy sandy deposits, which were not detected in the design				
8	1					8.1.3.2.6	During the design phase, the hydrogeological setting was not correctly reconstructed because the real lithostratigraphic setting of the succession was oversimplified and				
9	1	9.1.1.1.6	The excavation intercepted a lens-shaped body of grey fine sand-and-silt aquitard			9.1.3.1.6	The grey fine sands and silts are intercalated in the muddy sandy deposits, which were not detected in the design				
9	1					9.1.3.2.6	During the design phase, the hydrogeological setting was not correctly reconstructed because the real lithostratigraphic setting of the succession was oversimplified and				
10	1	10.1.1.1.8	The software did not directly address facing stability. The program was also developed specifically for one type of reinforcement, which was not specified nor utilized on this project					10.1.4.1.8	Engineers familiar with the design and performance of SRW's have long suspected that the design loads used in the analysis of SRW's overestimate the actual loads in the structure. This conservatism may have lead to the original designer ignoring the desing of	10.1.5.1.8	Failures occurred during or shortly after significant rainfall events
10	1	10.1.1.2.8	The original design was based on the assumption that no hydrostatic forces would be acting on the SRW					10.1.4.2.8	Had the original design addressed connections in accordance with industry practice (NCMA Design Manual) the wall would have performed as intended even with the addition of hydrostatic		
10	1	10.1.1.3.8	The design did not meet the recommended factor of safety for connections of 1.5. In fact, the connection was substantially under-designed								
11	1	11.1.1.1.7	Since the total area of the exposures was less than 0.25% of the total borrow area it was considered that seepage losses would be minimal and therefore special treatment was not necessary	11.1.2.1.7	Groundwater was generally absent, prior to the Setting Pond construction due to underseepage through ligneous interface soils, which were observed above the unconformity in most bores	11.1.3.1.7	Upper aquifer was located in fissured moderately plastic clays approximately 2m below the ground surface, which were not detected in the initial investigation				
12	1	12.1.1.1.7	The test data should be interpreted conservatively, rather than by simply taking an average, to determine a reasonable value of steady-state strength	12.1.2.1.7	Caused by the original static driving shear stresses in the embankment as a result of loss of strength in the liquefied soils					12.1.5.1.7	The liquefied zones after stress redistribution may be much larger than the initially liquefied zone caused directly by earthquake shaking (not direct cause)
13	1	13.1.1.1.7	It is clear that 1st failure of Embankment A could have been avoided if observational method was employed properly			13.1.3.1.7	The trend of increase in pore water pressures have been observed for more than one month but no contingency action was taken by the Contractor and the	13.1.4.1.7	It is observed that there is a large range of possible ultimate bearing capacity when using different methods and this tends to cause confusion to design		
13	1	13.1.1.2.7	The design by the Specialist Contractor only used Priebe's methods (1995) to check on the stability and settlement of the subsoils treated with stone columns. There was no evidence of separate calculations using other methods to check on the bulging and general shear failures of the stone columns when determining the ultimate bearing capacity; these failure modes are not			13.1.3.2.7	The vacuum suction at these depths were not functioning properly and was unable to prevent the increase of pore water pressures in the cohesive subsoil with respect to the embankment loads				
14	1	14.1.1.1.7	The design by the Specialist Contractor only used Priebe's methods (1995) to check on the stability and settlement of the subsoils treated with stone columns. There was no evidence of separate calculations using other methods to check on the bulging and general shear failures of the stone columns when determining the ultimate bearing capacity; these failure modes are not								
14	1	14.1.1.2.7	After the 1st failure, the contractor decided to use stone columns as remedial measures to strengthen the subsoil so that the embankment can be reconstructed. However, the embankment supported by stone columns failed again after reaching the fill								

Case			Microniveau			Mesoniveau			Macroniveau		
Nr.	Volgnr.	Code	1. De Professional	Code	2. De Geotechniek	Code	3. De Projectorganisatie	Code	4. De Bouwsector	Code	5. Externe Factoren
15	1	15.1.1.4	Inadequacy of geotechnical design for the approach embankments and abutments. The use of the RC piles and wood piles offered little lateral resistance and instead, extended the rotational slip deeper into the soft subsoil	15.1.2.1.4	The soft alluvium generally has SPT N' value of zero and average moisture content of more than 70% which is near its Liquid Limit. The subsoil was therefore unable to support the weight of the approach embankment, causing a rotational slip failure	15.1.3.1.4	When constructing bridges on very soft ground, design consultant, consultant's site engineer(s) and contractor should have some fundamental geotechnical knowledge which include understanding of the subsoil condition and awareness on the possible problems or failures that could happen during construction				
15	1	15.1.1.2.4	Lack of understanding of the subsoil condition and awareness on the possible problems/failures that could happen during construction			15.1.3.2.4	Failure could have been prevented if the designer and contractor had carried out simple bearing capacity checks. It is wrong to assume that as long as the structural design of an abutment has considered both vertical and lateral earth pressures behind the abutment, slip failure would				
15	1					15.1.3.3.4	Lack of construction control and site supervision by the Consultant				
16	1	16.1.1.1.1	The 12m penetration depth of the sheet pile is not adequate to support an excavation depth exceeding 3.5m with props at this site			16.1.3.1.1	Lack of construction control and site supervision by Consultant such as over-excavation and uncontrolled surcharging at retained soil				
16	1	16.1.1.2.1	Inadequacy of geotechnical design for various modes of failures								
17	1					17.1.3.1.7	Dislocation of the weld joints was the main cause of the failure				
17	1					17.1.3.2.7	Placing the walers inside the cofferdam compelled the use of steel strips to fill in the gaps etween walers and sheet piles, which were not likely to be installed in a straight line. The use of steel strip filling had weakened the bending resistance of the joints				
17	1					17.1.3.3.7	At the joints where the strut section was larger than the waler, the strut end was welded with a connecting plate that was, in turn, welded to the waler. This joint not only had the shortest weld length, the weld layout was also perpendicular to the direction of the force. Thus, it was not at all effective in resisting the shear force at				
18	1	18.1.1.1.8	The original design was based on the assumption that no hydrostatic forces would be acting on the SRW			18.1.3.1.8	The backfill soil did not comply with the FHWA recommendation, containing too much fines	18.1.4.1.8	The geosynthetic reinforcements used in Iran are predominantly flexible geogrid made of a variety of polymeric materials. Because of its complexity, the quality verifications of geogrid on site are always problematic	18.1.5.1.8	The highest section of wall failed during a heavy rainstorm
18	1	18.1.1.2.8	Poor workmanship			18.1.3.2.8	Inappropriate as-built design				
18	1					18.1.3.3.8	Inadequate planning				
19	1									19.1.5.1.8	Current tractive forces during floods, and gravitational and internal water forces during recession of flood waters, are predominant causes of
19	1									19.1.5.2.8	Land use may affect slope failures and bank erosion, if water infiltrating behind river banks causes persistent seepage and internal erosion
19	1									19.1.5.3.8	No significant correlation between traffic level and bank erosion was found, but prop turbulence and the direct impact of towboats operating approximate to river banks may have significant site-specific effects
20	1	20.1.1.1.8	It is believed that inadequate internal drainage of backfill soils and the use of poor draining materials was a major reason								
20	1	20.1.1.2.8	Improper geogrid installations. The bends and slack within the geogrid are suspected to be the contributing factors for the SRW								
20	1	20.1.1.3.8	Inadequate compaction of soils within reinforced zone is also believed to have contributed to the failure of the SRW								
21	1	21.1.1.1.8	Regarding landfill construction it is necessary to ensure proper drainage	21.1.2.1.8	Shape and local geometry of the failure area showed clearly, that in many parts the waste had moved directly on the underlying subsoil	21.1.3.1.8	Compaction machines were in place, but appeared in a poor condition			21.1.5.1.8	The reinforcement was destroyed due to a smouldering landfill fire which burned over months
21	1									21.1.5.2.8	The landslide happened after 3 days of heavy rain
22	1					22.1.3.1.8	No geosynthetic liner system was installed prior to waste placement and thus the waste is in contact with native materials and groundwater			22.1.5.1.8	Immediately after the reconstruction and renovation works of the old town was completed in 1965, cracks were observed in nearby buildings due to the movements in the landfill
23	1					23.1.3.1.8	Maximum MSW slope height was about 45m, with steep front slopes of up to 45 degrees or even more			23.1.5.1.8	On the day of the slide a major explosion occurred due to compressed gasses in the dumpsite. It is explained by Kocsoy and Curi (1995) that the explosion could not have been the main cause of
23	1					23.1.3.2.8	The MSW was placed without any liner system			23.1.5.2.8	Heavy rains were likely the triggering mechanism
23	1					23.1.3.3.8	The waste is not compacted			23.1.5.3.8	Excessive leachate level built up within the old decomposed waste caused by water infiltrating from the adjacent surface water ponds were likely the triggering mechanism
23	1					23.1.3.4.8	The waste is not covered with soil				
23	1					23.1.3.5.8	Before the slide, 3 to 5 m of demolition debris and soil was placed on top of the uncompacted waste starting in mid-1992 to provide cover for the waste and to increase income obtained from the fees of dumping of demolition debris				
23	1					23.1.3.6.8	Fires were known to be burning on the surface of the waste at several places during most of the year before the slide				
24	1					24.1.3.1.8	The landfill reaches a height of 60m above the surrounding level ground, with the slopes having slope angles of 45 degrees			24.1.5.1.8	A major slope failure occurred in the northern face of the dump, following a period of heavy rain
24	1					24.1.3.2.8	The landfill does not have an engineered bottom liner				
24	1					24.1.3.3.8	The landfill does not have a final cover				
24	1					24.1.3.4.8	The landfill does not have leachate and gas control systems				
24	1					24.1.3.5.8	As a result of the lack of vegetation, the landfill experienced small and large instability problems				
24	1					24.1.3.6.8	As a result of the lack of drainage, the landfill experienced small and large instability problems				
24	1					24.1.3.7.8	As a result of the lack of erosion controls, the landfill experienced small and large instability problems				
25	1					25.1.3.1.8	Following placement, waste is pushed over the brink of the slope so that it makes a steeper slope which creates more space for further waste on the top			25.1.5.1.8	Heavy rains caused by two typhoons that occurred in the area in the two weeks prior to the failure

Case Nr.	Voignr.	Code	Microniveau 1. De Professionnal	Code	2. De Geotechniek	Code	Mesoniveau 3. De Projectorganisatie	Code	Macroniveau 4. De Bouwsector	Code	5. Externe Factoren
25	1					25.1.3.2.8	The landfill did not have a liner system			25.1.5.2.8	Ponding of water on the top of the slope contributed to the failure
25	1					25.1.3.3.8	The waste material contained high proportion of plastics and organics, and less of metal, papers, and glass due to recycling by scavengers				
25	1					25.1.3.4.8	Landfill had large waste to soil ratio				
25	1					25.1.3.5.8	Little or no compaction resulted in a low density waste				
25	1					25.1.3.6.8	The construction of drainage trenches at the top of the slope to drain ponding water contributed to the failure				
25	1					25.1.3.7.8	Construction of a 2 to 3 m deep drainage ditch at the toe of the slope contributed to the failure				
25	1					25.1.3.8.8	The potential build-up of landfill gas contributed to the failure				
26	1	26.1.1.1.6	Poor workmanship			26.1.3.1.6	Poor engineering control			26.1.5.1.6	Bad health condition of the personnel
26	1	26.1.1.2.6	NATM design and construction were poorly understood			26.1.3.2.6	Deficient monitoring				
26	1	26.1.1.3.6	The numerical model used for design was not correctly calibrated against existing measurements			26.1.3.3.6	Repairs were permitted without recording and certifying the repair work that was completed				
26	1	26.1.1.4.6	Fast NATM experience has not been adequately taken into account			26.1.3.4.6	The management systems and the resources capable of collecting, inputting, processing and interpreting the large amounts of instrumentation data were				
26	1					26.1.3.5.6	The safety plan was deficient				
27	1	27.1.1.1.6	In various approximate models, tunnel deformation is assumed to be radially uniform, but the actual deformation pattern was clearly different	27.1.2.1.6	Clearly, the deformation was produced by the shear failure of weak rock masses subjected to high stresses	27.1.3.1.6	Failure of the first phase of excavation was due to an insufficient support system installed with considerable delays for economy reasons	27.1.4.1.6	In various approximate models, tunnel deformation is assumed to be radially uniform, but the actual deformation pattern was clearly different		
27	1	27.1.1.2.6	This effect is probably indicative of an inability of the primary support to withstand underestimated vertical pressures	27.1.2.2.6	Rockmass is extremely variable with sections of good quality rock mass alternating with sections of very loose material	27.1.3.2.6	Occasional delays in ring closure as principal cause of failure	27.1.4.2.6	The overall rockmass quality proves much lower than that indicated by in situ or laboratory geotechnical testing or conventional geological rock mass classification systems		
27	1	27.1.1.3.6	Failure of the first phase of excavation was due to an insufficient support system installed with considerable delays for economy reasons	27.1.2.3.6	The overall rockmass quality proves much lower than that indicated by in situ or laboratory geotechnical testing or conventional geological rock mass classification systems	27.1.3.3.6	No detailed geodetic data were available or because only a relatively low level of deformation was observed, not permitting one to recognize and describe effects such as the induced and laterally propagating deformation				
27	1	27.1.1.4.6	Bad craftsmanship as principal cause of failure								
27	1	27.1.1.5.6	No detailed geodetic data were available or because only a relatively low level of deformation was observed, not permitting one to recognize and describe effects such as the induced and laterally propagating								
27	1	27.1.1.6.6	Extreme convergence during the second phase of excavation due to an insufficient support system installed at high strains								
28	1	28.1.1.1.6	The construction director made an error of judgment about how dangerous it was			28.1.3.1.6	The design of the bolt of the temporary cofferdam differed from the original, because the builder (also owner) changed the design by itself			28.1.5.1.6	Because of the heavy rain
28	1	28.1.1.2.6	The design of the bolt of the temporary cofferdam differed from the original, because the staff of the consultant did not understand the situation of the field			28.1.3.2.6	There was a problem in the information system for risk aversion				
29	1	29.1.1.1.6	Both chloride and sulfate contents in soils and the groundwater exceed the chloride content limit of curing water of regular ready mixed concrete and mortar	29.1.2.1.6	The silt ingredient contained in the sand is non-plastic	29.1.3.1.6	This quality check process had shortcomings that only static flow of the leakage, i.e. Static permeability, was scrutinized; no further checks were practiced after re-grouting for impeding				
29	1	29.1.1.2.6	The CCP piles were intended to serve only for temporary purpose. Therefore, type I Portland cement was used instead. In combination with the high chloride and sulfate contents, this caused the piles to	29.1.2.2.6	The silt ingredient contained in the sand is highly erodible	29.1.3.2.6	The vibration caused by the wall breaking machinery might have triggered the failure				
29	1			29.1.2.3.6	The silt ingredient contained in the sand is very sensitive to piping compared to other silts with the same gradation with more plasticity						
30	1	30.1.1.1.8	Investigation into the failure revealed that the actual tensile strength of geotextile reinforcement constructed on site was 50kN/m instead of 90kN/m			30.1.3.1.8	Investigation into the failure revealed that the actual tensile strength of geotextile reinforcement constructed on site was 50kN/m instead of 90kN/m				
30	1	30.1.1.2.8	Investigation into the failure revealed that the actual constructed reinforcement length was 1.6m instead of 2.3m			30.1.3.2.8	Investigation into the failure revealed that the actual constructed reinforcement length was 1.6m instead of 2.3m				
31	1	31.1.1.1.4	This subsidence may have been caused as a result of having dividing walls that are shared with the buildings located at No. 22 of the same avenue	31.1.2.1.4	All of the affected buildings were located on a paleochannel in which the lowering of the groundwater table must have been greater in comparison to the buildings located outside of the paleochannel. This paleochannel may contain softer and more compressible						
31	1	31.1.1.2.4	To accommodate the basement of this building, an excavation was carried out, digging 6m deep and constructing traditional concrete walls, thereby lowering the groundwater table. Pumping then took place over the course of several months. Because it was not possible to achieve complete watertightness with the construction of the wall, intermittent pumping continued once construction of the building had been finished, still continuing to take place today. This may have contributed to lowering the groundwater table in the block affected and may be what was responsible for								
32	1			32.1.2.1.4	A possible quick and massive collapse of La Unión underground mining labours could have been responsible of the seismic activity that was registered by the seismographs	32.1.3.1.4	In spite of the warning given by the Spanish General Board of Mining at the end of the 1970s, which advised not to construct on abandoned mining areas at the outskirts of La Unión, they were finally			32.1.5.1.4	A possible seismic event was detected by distant seismic stations, causing cracks in the nearby industrial buildings
33	1			33.1.2.1.2	Investigations revealed that high pressure water jet from leaked water pipe had completely mixed with surroundings soil forming water soil slurry (high erosive properties) formed at a close vicinity of these pipes					33.1.5.1.2	The root cause of the pipe failures is attributed to the initial leak of the asbestos water pipe
34	1	34.1.1.1.3	The cause of over-pressurization was related to the temporary contractor's gate, which apparently had been left lowered in a partly closed position at the time of the	34.1.2.1.3	Reduction of ground support around the pipe due to a sinkhole that had formed above the silt, and adjacent the sewer					34.1.5.1.3	In the vicinity of the sinkhole, tree roots penetrated the sewer indicating that additional routes for exfiltration existed through the brickwork
34	1									34.1.5.2.3	Soon after the failure, a 6-foot high safe, a small safe and portions of a vase were found in the Overflow Structure, which probably ruptured the
35	1	35.1.1.1.7	The disaster was the result of human error, in this case definitely of scientific error, and a consequence of lack of knowledge	35.1.2.1.7	The loosened rock was not 10-20m but 350m thick				35.1.4.1.7	The disaster was the result of human error, in this case definitely of scientific error, and a consequence of lack of	
35	1	35.1.1.2.7	Dam builder didn't expect a slide, because he had been promised by geologists, sliding experts and others that there wouldn't be any slides								

Case Nr.	Volgnr.	Code	Microniveau 1. De Professional	Code	2. De Geotechniek	Code	Mesoniveau 3. De Projectorganisatie	Code	Macroniveau 4. De Bouwsector	Code	5. Externe Factoren
35	1	35.1.1.3	The groundwater level was known but not evaluated. Artesian water which would create uplift, better to say an in-depth pressure, which was a deciding factor in the equilibrium, was not considered								
36	1	36.1.1.4	Little attempt was made to investigate the geologic history of the area	36.1.2.1.4	All the soils when wetted had large collapse potential						
36	1			36.1.2.2.4	Intermittent mud flows had covered more underlying granular deposits, which had dried out						
37	1	37.1.1.4	The suspected buried stream bed missed every boring location	37.1.2.1.4	A dark streak running diagonally through the site was quite evident, revealing the likely existence of a buried stream bed	37.1.3.1.4	Encountering completely different soil conditions than indicated by the borings				
37	1					37.1.3.2.4	The photograph was very small and the geotechnical engineer requested a much larger photo, which he received a few weeks later				
38	1	38.1.1.4	The contracted driller admitted that he found water in a number of the borings, but as soon as he drilled through the clay layer, the water disappeared	38.1.2.1.4	The clay formed a saucer-like layer, causing a perched water table	38.1.3.1.4	Driller was only supposed to record the water level in the hole after the boring was completed				
38	1					38.1.3.2.4	Nobody asked the driller to mention these particular findings				
38	1					38.1.3.4	Borings were made without an inspector or soil technician present. The redundancy of having continuous inspection would have made it most likely that the perched water table would have been discovered				
39	1	39.1.1.4	An upper and a lower water level with a 20ft difference in head was discovered	39.1.2.1.4	Below the top 10ft of fill was an organic silty clay to a depth of about 40ft						
39	1	39.1.2.4	The bridge piers, designed for only 12 tons each and just long enough to extend through the compressible organic soil and only a few feet into the underlying sand								
40	1	40.1.1.5	The consultant discovered that many of the borings had actually not been made and logs were faked			40.1.3.1.5	Since the state highway department refused to pay, the consultant did no inspection of the drilling				
40	1					40.1.3.2.5	The highway department awarded the boring contract to the lowest bidder, a small contractor from another state				
40	1					40.1.3.3.5	There was a cinokete absence of communication between the geotechnical engineer and the drilling contractor				
41	1	41.1.1.4	Depending only on SPT tests	41.1.2.1.4	While the STP test is valuable as an indicator, it can be misleading if used alone	41.1.3.1.4	No inspection of borings				
41	1	41.1.2.4	Soil classifications made only by the driller								
41	1	41.1.3.4	No study of existing structures resting on the same formation								
41	1	41.1.4.4	No attempt to understand the geology								
41	1	41.1.5.4	No laboratory tests								
42	1	42.1.1.1	The contractor did not follow the specified installation and excavation procedure and instead excavated to the final depth without leaving a berm			42.1.3.1.1	Lack of peer review of the design				
42	1	42.1.1.2	There was little margin for error. Anchors should have been designed so that if one failed, the adjacent anchors could take the								
42	1	42.1.1.3.1	No second line of defense. Design depended on near-perfect execution of the work and near-perfect performance of the system and its components								
43	1	43.1.1.4	When the total load reached about 85% of the design load, each slab failed suddenly, with the failure of one following the other in just a matter of seconds			43.1.3.1.4	The slabs supporting the scaffolding, however, were simply placed on the ground without any soils investigation				
43	1	43.1.2.4	The slabs failed because they had almost no reinforcement, not because of excessive settlement			43.1.3.2.4	The slabs and scaffolding were temporary structures, which was the contractor's responsibility, thus not inspected nor approved by the structural engineer who designed the bridge spans				
43	1					43.1.3.4	No one had overall responsibility for all aspects of the work, including temporary structures				
44	1					44.1.3.1.6	The accident consequences would not have been so tragic if it had not been for the extension of the accident to the outside area of the construction site. Companies may not extend the safety area as much to avoid disturbing the city life close to many streets and walkways	44.1.4.1.6	If the depressions had been above the alert level, they should have cancelled the assigned explosion. Since the depressions were under acceptable levels, there was no reason to change the explosion procedures and schedule		
44	1					44.1.3.2.6	The project safety concerns restricted to the construction site and to workers, as well as to any other construction involved				
45	1	45.1.1.4	Due to difficulties during pile driving, many piles ended up defective or too short, with significantly reduced bearing capacity	45.1.2.1.4	Non-homogeneous distribution of layer thickness and compressibility within the soft clay deposits underlying the Cathedral					45.1.5.1.4	The construction of the deep drainage pipe contributed to the differential settlements
45	1			45.1.2.2.4	The Cathedral and El Sagrario were built over the remains of an ancient Aztec temple					45.1.5.2.4	Over-exploitation of deep aquifers and the rapid drop in the groundwater level
46	1	46.1.1.4	Even when the excess pore water pressure has completely dissipated, the settlement continues (creep / secondary compression)	46.1.2.1.4	The Pleistocene clays were the source of these excessive settlements			46.1.4.1.4	All these factors are rather difficult to quantify accurately in advance of the construction		
46	1			46.1.2.2.4	Some of the sand layers proved to be lenses, entirely enclosed within the clay layer						
46	1			46.1.2.3.4	Large spatial variability of soil properties and drainage geometry						
47	1	47.1.1.4	The main factor, the 'leaning instability', apparently caused the rapid increase in the inclination of the tower towards the end of its construction	47.1.2.1.4	Differential settlements due to variability of soil stiffness can only be partially responsible for the tilt						
48	1	48.1.1.4	The engineers assumed that the relatively stiff blue clay at the site had similar characteristics and a depth to that on which similar raft foundations of many heavy structures had been founded in the vicinity	48.1.2.1.4	The elevator failure was most likely caused by the insufficient bearing capacity of its foundation	48.1.3.1.4	The small size of the plates compared to that of the foundation did not allow for the deeper weak clay layer to be involved in the failure mechanism during the tests			48.1.5.1.4	Large settlements of the embankments of the railroad yards, carrying the tracks
48	1	48.1.2.4	Ground heave is a distinctive feature of the failure of the Transcona Grain Elevator and was already present at the early failures of the railroad embankments	48.1.2.2.4	The elevator foundation however, developed a much deeper failure mechanism which entered the weaker clay layer, significantly reducing the bearing capacity						
49	1			49.1.2.1.8	It is concluded that the failure and the deep sinking of caissons should be explained by a strength-loss mechanism associated with the cyclic wave loading					49.1.5.1.8	An east-northeast storm with maximum significant wave heights of 4m hit the coast

Case Nr.	Volgnr.	Code	Microniveau 1. De Professional	Code	2. De Geotechniek	Code	Mesoniveau 3. De Projectorganisatie	Code	Macroniveau 4. De Bouwsector	Code	5. Externe Factoren
50	1	50.1.1.1.5	A wrong use of numerical modeling in geotechnical design, together with some structural errors, were the main causes of the collapse				50.1.3.1.5 Warnings of the approaching collapse were present from an early stage but these were not taken seriously				
50	1	50.1.1.2.5	A wrong estimate of the undrained earth pressure acting on the retaining structures				50.1.3.2.5 Wrong use of the geotechnical back analysis				
50	1	50.1.1.3.5	An error in design of the bearing capacity of the walers, unable to take redistributed loads once one of them failed				50.1.3.3.5 Inefficiency of instrumentation and monitoring systems				
50	1	50.1.1.4.5	Insufficient toe-penetration of the diaphragm wall into the impermeable strata				50.1.3.4.5 Long times at which excavation was left unsupported				
50	1	50.1.1.5.5	Lower than expected JGP strength				50.1.3.5.5 No strut failure check in the back analysis				
51	1			51.1.2.1.6	The presence of some 'fills' difficult to identify because they were also described as clay and gravel		51.1.3.1.6 The tunnel collapse was a consequence of an inappropriate construction method designed for rocks, even if they exhibit a				
51	1						51.1.3.2.6 It is also quite possible that the method used could have been successful, provided the bench excavation procedure was				
52	1			52.1.2.1.6	The face failures in the La Fioresta tunnels ultimately explained by the low strength of highly decomposed and densely fissured paleozoic shales which behaved as a soil with very low friction		52.1.3.1.6 Wrong tunnel construction method has been used, since construction method does not provide face support				
53	1									53.1.5.1.5	After 3 days of an intense rain reaching 107 mm, a sudden acceleration of the landslide occurred
53	1									53.1.5.2.5	Neotectonic movements resulted in the reactivation and subsequent behaviour of the landslide
54	1	54.1.1.1.7	Flow of water through the grout curtain just below the grout cap				54.1.3.1.7 Inconsistencies in the soil of the dam, due to wet seams				
54	1	54.1.1.2.7	Hydrolic fracturing or differential settlement in the key trench fill leading to cracking across the fill and resulting soil erosion				54.1.3.2.7 The basic cause of the failure was clearly progressive erosion of the highly erodible Zone 1 fill material				
54	1	54.1.1.3.7	The contact surfaces between the impervious core and the jointed rock hasn't been appropriately sealed and didn't have an appropriate filter layer				54.1.3.3.7 Reservoir has been filled to quickly and there where no means for lowering the water level rapidly if problems would develop				
54	1	54.1.1.4.7	Principle of multiple lines of defence has been neglected				54.1.3.4.7 The design hasn't been reviewed by another (independent) design agency, because they fully trusted on the successfulness of this design agency				
54	1	54.1.1.5.7	Risk of lower quality materials being used for the dam, without the designer knowing about this, has not been recognized				54.1.3.5.7 No monitoring instrumentation has been used to check the performance of the earth dam				
54	1						54.1.3.6.7 The designer of the dam hasn't communicated with the constructor of the dam for the entire construction period				
54	2						54.2.3.1.7 Fractured foundation		54.2.4.1.7		The concept of hydrolic fracturing in earth dams was not accepted (nor fully understood) by much of the profession at the time the dam was built
54	2						54.2.3.2.7 Easily erodible core				
54	2						54.2.3.3.7 The planned limitation of the Teton filling rate was modified by an administrative decision to store the unusually great runoff that year				
54	2						54.2.3.4.7 The failure investigations disclosed open foundation cracks at the grout curtain level, and no slush of the grouting in the upper upstream cutoff trench				
54	2						54.2.3.5.7 Failure to employ current technology				
54	2						54.2.3.6.7 These deficiencies appear to have been an effort to save money in a project whose benefit-to-cost ratio was low				
54	2						54.2.3.7.7 It was not bureau practice at that time for the dam designers to inspect the site during design or visit the site during construction to work out necessary adaptations of the design to unforeseen oil and rock conditions during construction				
55	1	55.1.1.1.1	Failure to archive building plans				55.1.3.1.1 Failure to investigate city-hall load				
55	1	55.1.1.2.1	Marginal bracing safety								
55	1	55.1.1.3.1	Excessive bracing deflection								
55	1	55.1.1.4.1	Lack of overall system stability								
56	1			56.1.2.1.3	The building was underlain by compressible, decomposing peat					56.1.5.1.3	(American) Litigation
56	1			56.1.2.2.3	The settlement was probably augmented by continuing peat decomposition						
26	2	26.2.1.1.6	Extremely poor workmanship				26.2.3.1.6 Failing to ensure the safety of those not in their employ, be exposing them to danger, as technical supervisor of the works				
26	2	26.2.1.2.6	The site investigation was 'preliminary' and 'surprising if a tunnelling expert did not carry out a further investigation'				26.2.3.2.6 Major flaws in construction management				
26	2						26.2.3.3.6 Questionable contractual arrangements				
26	2						26.2.3.4.6 Architect was 'the watchdog' that did not bark				
57	1	57.1.1.1.8	Collapse, partly induced by the limited toe depth, which exceeded the often underestimated design conditions							57.1.5.1.8	The collapse was due to high wave impact loading
58	1	58.1.1.1.8	Collapse, partly induced by the limited toe depth, which exceeded the often underestimated design conditions							58.1.5.1.8	The collapse was due to high wave impact loading
59	1	59.1.1.1.8	Collapse, partly induced by the limited toe depth, which exceeded the often underestimated design conditions							59.1.5.1.8	The collapse was due to high wave impact loading
60	1	60.1.1.1.8	Collapse, partly induced by the limited toe depth, which exceeded the often underestimated design conditions							60.1.5.1.8	The collapse was due to high wave impact loading
61	1	61.1.1.1.8	Collapse, partly induced by the limited toe depth, which exceeded the often underestimated design conditions							61.1.5.1.8	The collapse was due to high wave impact loading
62	1	62.1.1.1.8	Local breaches of the thin parapet caused by heavy wave overtopping							62.1.5.1.8	The collapse was due to high wave impact loading
62	1	62.1.1.2.8	Damage to the pipelines running on the superstructure caused by heavy wave overtopping								
63	1	63.1.1.1.8	The tetrapod front protection, which was only provided at the end sections, was eroded							63.1.5.1.8	The collapse was due to high wave impact loading

Bijlage 8: Geïdentificeerde gevolgen geotechnisch falen

Deel 1 van 2: Veiligheid, Kwaliteit & Reputatie

Case Nr.	1. Veiligheid Volgen Slachtoffers?	Score	2. Kwaliteit Getroffen stakeholder Fisieke schade?	Score	3. Reputatie Getroffen stakeholder Reputatieschade?	Score
1	1	-	Nieuw gebouwde wegoophoging beschadigd	2	-	-
2	1	-	Instorting dam	3	-	-
2	2	-	Instorting dam	3	-	-
2	3	-	Instorting dam	3	-	-
3	1	-	Verschuiven muur opslagtank	2	-	-
4	1	-	Verschuiven kademuur	2	-	-
5	1	-	Verschuiven kademuur	2	-	-
6	1	-	Indringen grondwater	1	-	-
7	1	-	Indringen grondwater	1	-	-
8	1	-	Indringen grondwater	1	-	-
9	1	-	Tunnel onder water	2	-	-
10	1	-	Delen van muur ingezakt	3	-	-
11	1	-	Weglekken vervuild water	2	-	-
12	1	-	Verzakken deel dam	2	-	-
13	1	-	Verzakken deel dijk	2	-	-
14	1	-	Verzakken deel dijk	2	-	-
15	1	-	Verzakken deel brugfundering	2	-	-
16	1	-	Verschuiven deel damwanden	2	-	-
17	1	-	Verschuiven deel damwanden	2	-	-
18	1	-	Instorten deel grondkerende muur	2	-	-
19	1	-	Langdurige erosie rivierbeddingen	1	-	-
20	1	-	Instorten grondkerende muur	3	-	-
21	1 147 doden	3 de omwonenden	Instorting heiling vulnisberg	3	-	-
22	1	-	Instorting heiling vulnisberg	3	-	-
23	1 27 doden	3 de omwonenden	Instorting heiling vulnisberg	3	-	-
24	1	-	Instorting heiling vulnisberg	3	-	-
25	1 250 doden	3 de omwonenden	Instorting heiling vulnisberg	3	-	-
26	1	-	Instorting deel tunnel	3	-	-
27	1	-	Grootschalige deformatie	2	-	-
28	1 7 doden	3 de bouw	Bezwijking tijdelijke dam / dikke laag modder in tunnel	2	-	Gevangenisstraf projectmanager, geldboete aannemer
29	1	-	-	-	-	-
30	1	-	-	-	-	-
31	1	-	Grote hoeveelheid scheuren en verzakkingen in oude gebouwen	1	-	-
32	1	-	Progressieve gronderzakkingen tot 507 mm over een gebied met een straal van 700 meter	1	-	-
33	1	-	Lekkage gasleiding en twee naastgelegen leidingen	2	-	-
34	1	-	Twee woningen opgeslokt in gat in de grond	3	-	de omwonenden
35	1	-	Lichte schade aan voet van de dam	1	-	-
36	1	-	Ernstige verzakking gebouw, extra fundatie nodig	2	-	-
37	1	-	-	-	-	-
38	1	-	-	-	-	-
39	1	-	Lichte verzakking midden van brug	1	-	-
40	1	-	-	-	-	-
41	1	-	-	-	-	-
42	1	-	Bezwijking grondkerende muur	3	-	-
43	1 13 doden	3	Instorting brug	3	-	-
44	1 7 doden	3 overige	Instorting deel tunnel	3	-	-
45	1	-	Progressieve verzakking van paar cm/jaar, op lange termijn stabiliteitsproblemen	2	-	-
46	1	-	-	-	-	-
47	1	-	Toren staat een paar graden uit het lood	1	-	-
48	1	-	Graansilo's onder hoek van 27 graden weggetakt	2	-	-
49	1	-	Betonenlementen onder waterspiegel. Minder sterk dan gepland; extra materialen nodig.	2	-	-
50	1 4 doden	3	Instorten afgraving tunnel	3	-	-
51	1 1 dode	3	Instorten deel tunnel	3	-	-
52	1	-	Instorten grond aan kop van tunnels. Tunnels zelf niet beschadigd	2	-	-
53	1	-	Afsluiten deel snelweg en brug	3	-	-
54	1 14 doden	3 de omwonenden	Instorting deel dam	3	-	-
54	2 9 doden	3 de omwonenden	Instorting deel dam	3	-	-
55	1	-	Opstaan van zettingen en scheuren	1	-	-
56	1	-	Verzakken naastgelegen pand	1	-	-
56	2	-	Instorten deel tunnel	3	-	Hof achte architect en aannemer schuldig; grootste boetes ooit
57	1	-	Verzakken/-schuiven waterkering	2	-	-
58	1	-	Verzakken/-schuiven waterkering	2	-	-
59	1	-	Verzakken/-schuiven waterkering	2	-	-
60	1	-	Verzakken/-schuiven waterkering	2	-	-
61	1	-	Verzakken/-schuiven waterkering	2	-	-
62	1	-	Verzakken/-schuiven waterkering	2	-	-
63	1	-	Verzakken/-schuiven waterkering	2	-	-

Deel 2 van 2: Geld, Tijd, Hinder & Totalscore effect

Case	4. Geld	5. Tijd	6. Hinder	Totaal effect			
Nr. Volgnr.	Kostenverhogingen?	Score Getroffen stakeholder	Vertraging?	Score Getroffen stakeholder	Overlast?	Score Getroffen stakeholder	
1	1	-	-	-	-	-	2
2	1	-	-	-	-	-	7
2	2	-	-	-	-	-	7
2	3	-	-	-	-	-	7
3	1	-	-	-	-	-	2
4	1	-	-	-	-	-	5
5	1	-	> 12 maanden	3	-	-	2
6	1	-	-	-	-	-	1
7	1	-	3 jaar	3	-	-	4
8	1	-	3 jaar	3	-	-	4
9	1	-	3 jaar	3	-	-	5
10	1	-	-	-	-	-	3
11	1	-	-	-	-	-	2
12	1	-	-	-	-	-	2
13	1	-	-	-	-	-	2
14	1	-	-	-	-	-	2
15	1	-	-	-	-	-	2
16	1	-	-	-	-	-	2
17	1	-	-	-	-	-	2
18	1	-	-	-	-	-	2
19	1	-	-	-	-	-	1
20	1	-	-	-	-	-	3
21	1	-	-	-	-	-	6
22	1	-	-	-	-	-	3
23	1	-	-	-	-	-	6
24	1	-	-	-	-	-	5
25	1	-	-	-	-	-	6
26	1	150 miljoen aan herstelwerkzaamheden	3	-	-	-	6
27	1	10 keer hoger dan begroot	3	3	-	-	8
28	1	-	-	-	-	-	0
29	1	-	-	-	-	-	0
30	1	-	-	-	-	-	0
31	1	-	-	-	-	-	1
32	1	-	-	-	-	-	1
33	1	-	-	-	-	-	3
34	1	-	-	-	-	-	3
35	1	-	-	-	-	-	4
36	1	Tientallen miljoenen dollars aan extra fundering	3	-	-	-	5
37	1	-	-	-	-	-	0
38	1	-	-	-	-	-	0
39	1	-	-	-	-	-	1
40	1	-	-	-	-	-	0
41	1	-	-	-	-	-	0
42	1	-	-	-	-	-	5
43	1	-	-	-	-	-	6
44	1	-	-	-	-	-	6
45	1	-	-	-	-	-	2
46	1	Verhoogde kosten voor 14 miljard kostende project	3	-	-	-	3
47	1	-	-	-	-	-	1
48	1	-	-	-	-	-	2
49	1	-	-	-	-	-	2
50	1	-	Vertraging van CCL1-fase van 4 jaar	3	-	-	9
51	1	-	-	-	-	-	6
52	1	-	-	-	-	-	2
53	1	-	-	-	-	-	6
54	1	400 miljoen aan schade stroomafwaarts	3	-	-	-	12
54	2	-	-	-	-	-	6
55	1	Schatting: 250.000 euro	2	-	-	-	3
56	1	-	-	-	-	-	1
56	2	-	-	-	-	-	5
57	1	-	-	-	-	-	2
58	1	-	-	-	-	-	2
59	1	-	-	-	-	-	2
60	1	-	-	-	-	-	2
61	1	-	-	-	-	-	2
62	1	-	-	-	-	-	2
63	1	-	-	-	-	-	2

Bijlage 9: Geïdentificeerde beheersmaatregelen geotechnisch falen

		Beheersmaatregelen (B)		
Case		1. Type beheers- / herstelmaatregel	2. Resultaat	
Nr.	Volgnr.	Type	Beoogde effect?	Bewezen?
1	1	(S) Rekening houden met historische instabiliteiten bij ontwerp (I) Grond vervangen door beter verdichte grond met drainage (I) Weg verleggen met stabiel gesneden hellingen		
2	1			
2	2			
2	3			
3	1	(I) Grond beter laten zetten / extra verstevigen met cementgrout (S) Opslagtank waterdicht maken van binnen- i.p.v. Buitenzijde	• Verbeteren van draagkracht grond • Verbeteren van de wrijvingscoëfficiënt grond	
4	1	(S) Grond in mariene milieu's moet eerst verbeterd / geconsolideerd worden (I) Zachte bodemmateriaal verwijderd en vervangen door beter verdicht materiaal	• Grondparameters worden hierdoor beter (voorspelbaar) • Grond krijgt tijd om te consolideren, wat latere verzakkingen voorkomt	
5	1	(S) Geen compromissen realiseren op basis van de klant zijn wens om zo vroeg mogelijk in bedrijf te gaan (S) Kademuur en grondvulling samen tenderen (S) Afvoer/drainage van water regelen tijdens grondvulling (S) (Grond)analyses niet alleen voorafgaand aan het werk, maar ook tijdens het werk uitvoeren	• Afstemmingsproblemen tussen constructieonderdelen worden voorkomen • Vorming van een binnenmeer met alle gevolgen van dien wordt voorkomen • Veranderingen in grond- en projectkenmerken worden meegenomen in de planning en werkzaamheden	
6	1	(S) Nauwgezette, multidisciplinaire evaluatie van grondkenmerken		
7	1	(S) Nauwgezette, multidisciplinaire evaluatie van grondkenmerken (I) Beter uitzetten van het ontwerp op basis van hydrologische grondkenmerken	• Bruikbaar en betrouwbaarder interpretatie van ontwerp in uitvoering	JA
8	1	(S) Nauwgezette, multidisciplinaire evaluatie van grondkenmerken (I) Toepassen HydroShield	• Reguleren van gronddruk ter hoogte van afgraving tunnel	JA
9	1	(S) Nauwgezette, multidisciplinaire evaluatie van grondkenmerken (I) Injectie van cement-mix in tunnel (I) Compactie van omringende grond met grout (I) 'Clauage'-behandeling met een mix van water, cement en bentoniet	• Stelpen lekkage • Verbeteren stabiliteit grond	JA
10	1			
11	1	(I) Aanleggen van tijdelijk- en definitieve drainage voor het verminderen van de waterdruk	• Verhogen veiligheidsfactoren, opdat opdrijving en wegspoelen voorkomen wordt	JA
12	1	(S) Data grondonderzoek minder 'middelen'. De uitschieters zijn eveneens belangrijk. (S) Stress-redistributie van dammen na (aardbevings)incidenten meenemen in ontwerp	• Voorkomen dat delen van de grond onvoldoende stressbestendig zijn voor het gekozen ontwerp.	
13	1	(S) Verschillende draagcapaciteitstests moeten worden toegepast (S) Prestatie van het ontwerp moet zorgvuldig gemonitord/geverifieerd worden door instrumentatie en 'draagtests'		
14	1	(I) Verlagen dijk tot 1.5 meter (S) accurate 'observational method' nodig bij gebruik van slechts één methode voor bepalen van sterkte	• Verminderen gronddruk	JA
15	1	(I) Voldoende in-situ tests uitvoeren om een representatief beeld te geven van de ongedraineerde sterkte van de ondergrond (S) Krachten op de funderingspalen als gevolg van grondopvulling achter de brug ook meenemen bij bepalen paalsterkte (S) De architect, de aannemer en projectleider hebben ten minste de fundamentele kennis van geotechniek nodig van de projectondergrond, waarbij tijdens de bouw problemen kunnen ontstaan.		
16	1	(S) Bij het ontwerpen van grondkerende constructies, moeten de 'overall stability', 'basal failure' en 'hydraulic failure' altijd berekend worden (S) Bij het ontwerpen van grondkerende constructies altijd kijken naar het effect van het verlagen van grondwater op de onderliggende waterdruk en zettingen van de grond	• Verstoring en schade aan aanliggende gronden en constructies voorkomen	
17	1	(I) Plaatsen van een verstijving tussen de flensen (S) Uitvoeren van eindige-elementen-modellering, voorafgaand aan de uitvoering van het ontwerp	• Kromtrekken van onderdelen voorkomen	JA
18	1	(S) Zowel bij het ontwerp als bij de uitvoering rekening houden met het feit dat een goede connectie tussen de geogrid grondversterking en de grondkerende muur cruciaal is. (S) Uitvoeren van globale stabiliteitsanalyses onder verschillende weerscondities, voor verschillende projectfasen. (S) Negeer nooit de hydrostatische waterdruk bij dit soort constructies (onderdeel van de basisprincipes van geotechnische engineering)	• Voorkomen van catastrofale instorting	
19	1			
20	1			
21	1	(S) Uitvoeren van een realistische stabiliteitscalculatie (I) Drainage voor onderliggende grond en afvoer van hemelwater (I) Consequenter brandbestrijding	• Correct herkennen van stabiliteitsproblemen en hier passend op kunnen reageren • Besparen van levens	
22	1	(S) Gebruik een gewicht per eenheid voor vloeistoffen dat groter is dan dat van water	• Berekenen van een realistischere veiligheidsfactor	
23	1			
24	1	(S) Houd rekening met de opbouw van drukgasen door deze in te schatten en mee te nemen in de analyse		
25	1			
26	1			
27	1	(S) Vroegtijdige identificatie van vervormingen en eerder handelen / stopzetten bouw bij vervormingen (kritieke spanning onder 2%)	• Voorkomen van grote convergentie (complexe vervorming) en falen van tunnel	
28	1	(S) Snelle waarschuwingssystemen/evacuatieprotocollen bij gevaarlijke situaties (S) Rekening houden met abnormale weersomstandigheden in ontwerp en uitvoering (S) Een persoon/instantie de leiding geven, i.p.v. Twee of meer (S) Transparanter ontwerp(wijzigingen) (S) Meer aandacht voor veiligheid op basis van de site karakteristieken	• Communicatieproblemen verhelpen / creëren van heldere communicatiestructuur • Ontwerp geschikter maken voor (uitvoering op) locatie • Meer controle op ontwerpfouten/-gebreken • Creëren van veiligere werkomgeving	

I = Incidenteel, S = Structureel

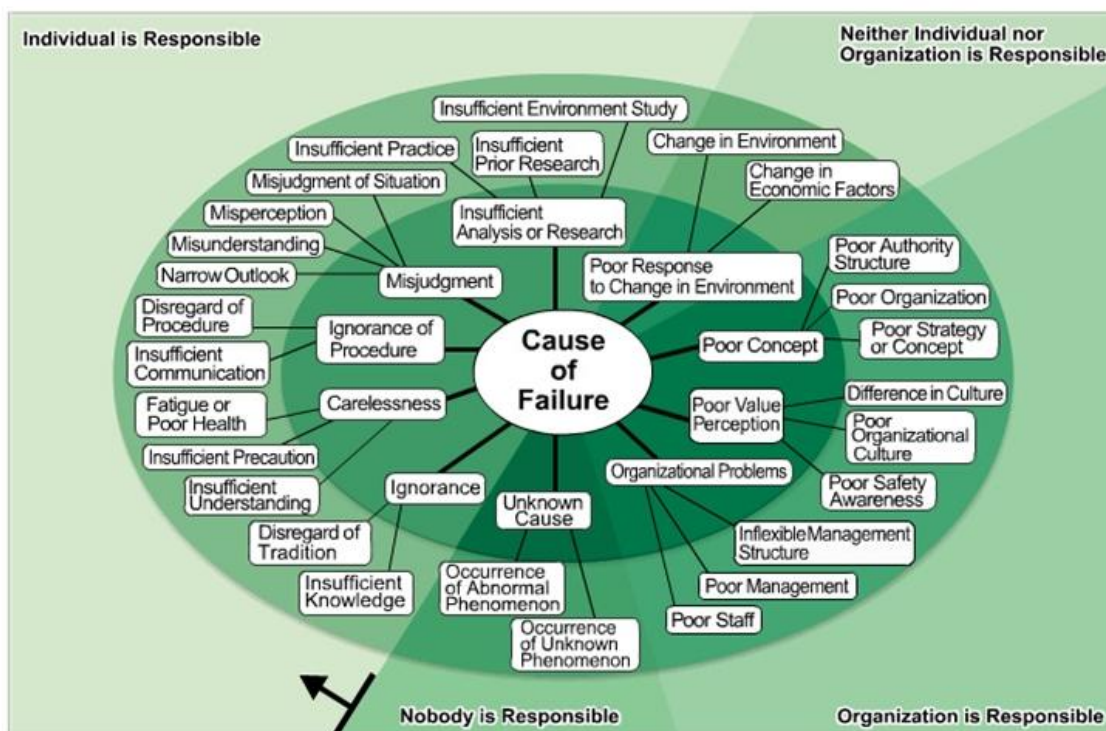
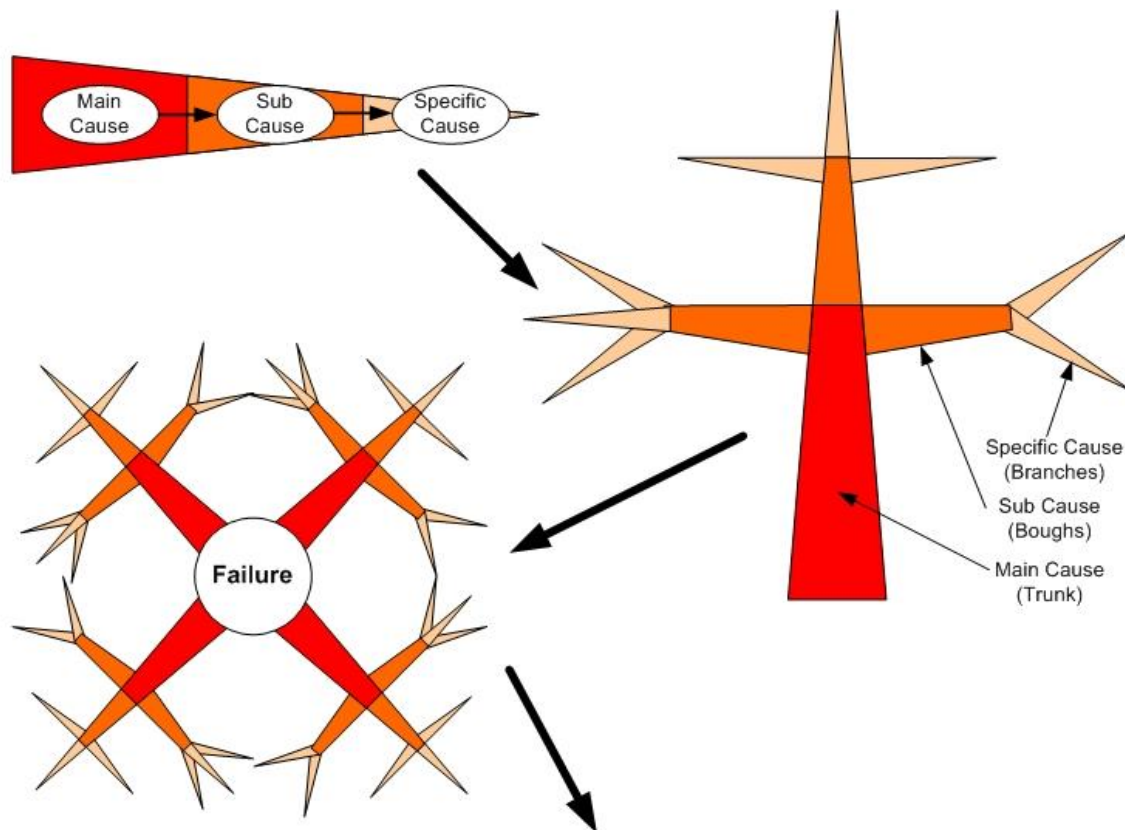
		Beheersmaatregelen (B)		
Case		1. Type beheers- / herstelmaatregel	2. Resultaat	
Nr.	Volgnr.	Type	Beoogde effect?	Bewezen?
29	1			
30	1			
31	1	(I) 'Continuous-shield-technology' inzetten bij ontgravingen	• Verminderen van daling grondwater in omringende gebied	
32	1			
33	1			
34	1			
35	1	(S) Voorspel de afschuifsnelheid (S) Houd meer vrije ruimte over voor het water (S) Voer modelexperimenten uit om golfhoogte te bepalen (S) Leg in een vroeg stadium drainage aan in risicogebieden (S) Creer meer grondweerstand aan voet van helling (S) Ontwikkel alarmsystemen voor omwonenden (S) Baseer beslissingen niet alleen op basis van consolidatie hypothese (S) Laat beslissingen niet onnodig moeilijk worden door verschillen in expertise van verschillende adviseurs (S) Beloof als expert niet dat er niets kan gebeuren (S) Verlaag onmiddellijk het waterniveau bij verschuivingen	• Voorkomen van catastrofale afschuiving van 200 miljoen kuub grond in een stuwmeer, met 260 meter hoge golven als gevolg	
36	1	(I) Zet de boor- en observatiegaten onder water wanneer je ze verder niet meer gebruikt	• (Vroegtijdig) identificeren van bezwijkingsgevaar onder invloed van water	
37	1	(I) Precieze locatie fundering nog niet in voorafgaand aan het grondonderzoek vastleggen (S) Gebruik van luchtfoto's (en andere kennisbronnen) ter aanvulling van het grondonderzoek	• Een zo optimaal mogelijk locatie vinden voor het plaatsen van zware funderingen • Het verkrijgen van een zo realistisch mogelijk beeld van de omgeving, in acht nemend dat verschillende methoden niet altijd hetzelfde beeld geven	JA
38	1	(S) Voer grondonderzoek altijd uit in aanwezigheid van een inspecteur of geotechnicus (S) Formuleer doelstelling grondonderzoek duidelijk en wijs erop dat bijzonderheden altijd het vermelden waard zijn	• In kaart brengen van alle relevante grondeigenschappen, ook eigenschappen die in eerste instantie niet interessant/bijzonder lijken	JA
39	1	(I) Rapporteer alle observaties van de uitvoerend boorder (I) Laat een inspecteur of geotechnicus het grondonderzoek continue in de gaten houden	• Zo goed mogelijk identificeren van grondkenmerken	JA
40	1			
41	1	(S) Wanneer mogelijk, altijd meer dan één type in-situ test uitvoeren, zoals bijvoorbeeld 'Dutch cone tests', 'in-place vane tests', 'pressuremeter tests' en andere tests waarvan de resultaten met elkaar te vergelijken zijn	• Een zo realistisch en betrouwbaar mogelijk beeld geven van de situatie, in acht nemend dat verschillende tests verschillende resultaten opleveren	
42	1			
43	1			
44	1	(I) Verruim veiligheidsmarges en -plannen (I) Gebruik communicatiesystemen die noodsituaties kunnen detecteren en een alarm kunnen genereren voor het sluiten van omringende straten en de evacuatie van mensen in deze gebieden	• Voorkomen dat, ondanks het feit dat aan alle regels is voldaan, er onnodige slachtoffers vallen bij projecten in dichtbevolkte gebieden • Redden van levens van mensen die zich niet bewust zijn van de risico's bij bouwwerkzaamheden	
45	1	(I) Ondergraven delen van fundering (I) Injecteren betongrout in de bovenste kleilaag (S) Historische grondspanning, afstand met naburige constructies en zeer plaatselijke grondverschillen beter meenemen in ontwerp grote (funderings)constructies	• Hogere delen fundering op zelfde niveau brengen als lagere delen • Samendrukbaarheid kleilaag verminderen • Voorkomen van verzakkingen in de toekomst	
46	1	(I) Pas de Observational Method toe, door het ontwerp flexibel te houden en af te stemmen met het gedrag van de grond (S) Controleer / Bereken het ontwerp met simpele geotechnische inverse-analyses (I) Steunpilaren voorzien van een 'jack-up' systeem (S) Gebruik resultaten grondonderzoek (bij grote projecten) enkel als schatting van de initiële situatie (S) Houd rekening met zowel primaire als secundaire zettingen van grond en driedimensionaliteit van probleem (S) Houd rekening met verschillende water verdrijvingsmogelijkheden van grond door de 'pore-water-pressure' van deze lagen ook tijdens de bouw te controleren	• Voorkomen dat constructies op grond worden gebouwd waar dit eigenlijk niet mogelijk is • Beter begrijpen en voorspellen van zettingen bij grootschalige constructie- en landwinningsvraagstukken • Aanpassen van steunpilaarhoogte en daarmee zettingen compenseren	JA
47	1	(S) Houd rekening met leun-instabiliteit, waarbij de kans op bezinking groter wordt naarmate de instabiliteit groter wordt (S) Check bouwwerken met een grote hoogte/breedte-ratio op een ondiepe fundering op leun-instabiliteit door simpele schematische calculaties uit te voeren (S) Zorg ervoor dat de in-situ void ratio, samendrukbaarheid- en zwellingen index van de projectsite bekend zijn (S) Pas de fundering aan op de hoogte/breedte-verhouding van de constructie door de zachte bovenste laag te verwijderen of een voldoende brede fundering aan te leggen (I) Ondergraven delen van fundering	• Voorkomen/corrigeren leun-instabiliteit	JA
48	1	(I) Voer in-situ tests op voldoende grote schaal uit (S) Zorg voor voldoende marge in het ontwerp van de fundering (I) Voer een simpele bovengrens-analyse uit voor het voorspellen van het grondgedrag	• Aanspreken van de meest realistische faalmechanismen in de grond • Voorkomen dat de veiligheidsfactor voor de draagkracht van de grond wordt overschreven • In een vroeg stadium, op een zo eenvoudig mogelijke manier problemen identificeren	

I = Incidenteel, S = Structureel

		Beheersmaatregelen (B)		
Case		1. Type beheers- / herstelmaatregel		2. Resultaat
Nr.	Volgnr.	Type	Beoogde effect?	Bewezen?
49	1	(I) Laat de grond langer/snelser consolideren (S) Plan dergelijke werkzaamheden niet in een 'storm' seizoen (I) Vergroot de breedte van de granulaatbodem (I) Verbeter onderliggende gronden (I) Verbreed de caisson breedte (S) Houd rekening met de complexiteit van funderingen op normaal geconsolideerde zachte grond (S) Houd rekening met dat de bodemsterkte veranderd bij toenemende oppervlaktebelasting (I) Bereken de stabiliteit van de situatie voor zowel de gedraineerde als ongedraineerde situatie (S) Houd rekening met dat de ongedraineerde sterkte van grond veranderd over de tijd door oppervlaktebelasting (S) Controleer stabiliteit ook op horizontale belasting. Puur verticale belasting is vaak niet het geval	• Voorkomen dat betonnen kistdammen in instabiele situaties komen waarbij ze wegzakken in de bodem	
50	1	(S) Laat risico management niet alleen over aan de aannemer (S) Zorg dat het ontwerp voldoende robuust is (S) Gebruik dezelfde veiligheidsnormen voor tijdelijke werken als voor permanente werken (S) Laat numerieke analyse een aanvulling zijn op goed vakmanschap, in plaats van het te verdringen. (S) Zorg voor vakkundige mensen met een fundamentele kennis van grondmechanica voor het uitvoeren van een numerieke geotechnische analyse (I) Voer een back-analyse uit door na te gaan waarom het ontwerp niet functioneert zoals voorspeld, in plaats van alleen de ontwerp-niveaus te verhogen.	• Voorkomen dat de veiligheidsnormen worden opgerekt ten gunste van de productie doelstellingen • Voorkomen dat falen van één element leidt tot falen van complete constructie • Voorkomen dat constructie faalt door (tijdelijke) normen die overschreden worden • Voorkomen dat men zich blindstaart op de uitkomsten van een numerieke analyse • Voorkomen dat de fout progressief door blijft werken in de rest van de constructie	
51	1	(S) Benader de laatste (bench) afgravingen met net zo veel structurele voorzichtigheid als de rest van de tunnel (S) Houd rekening met het feit dat de tunnellenlengte-, doorsnede van de benches en de werkzaamheden aan de onderzijde van de tunnelboog de veiligheid van de boog zelf verlagen (S) Bereken de stabiliteit van de bovenliggende grond ook in ongedraineerd staat, ook al is het op dat moment helemaal droog	• Voorkomen dat er te lichtvoetig over de gevaren van deze bench-ontgraving wordt gedacht • Voorkomen dat de veiligheidsfactoren van dit soort tunnels wordt overschat • Voorkomen dat de grondbelasting hoger uitvalt dan (in de meeste situaties) rekening mee is gehouden	
52	1	(S) Houd rekening met de instabiliteit van de kop van de tunnel bij constructiemethoden zonder 'kop-verstevigingen' (I) Bepaal veiligheidsfactoren met goed ontwikkelde 2- & 3-dimensionale stabiliteitstoplossingen	• Voorkomen dat grond aan de kop van de tunnel instort	
53	1	(I) Pas de Fukuzono-methode toe voor het leveren van waardevolle informatie voor besluitvormingsprocessen in het geval van aardverschuivingen (S) Begrijp natuurlijke geotechnische factoren voordat je begint met bouwen, door bijvoorbeeld luchtfoto's te analyseren (S) Grote, progressieve aardverschuivingen kunnen niet worden berekend met traditionele hellings-stabiliteits-methoden. (S) Vertrouw nooit volledig op monitorings-resultaten bij natuurlijke gevaren en stel de besluitvormingsprocessen hierdoor niet uit	• Voorkomen dat een gebied onnodig of juist niet wordt geevacueerd ten tijde van aardverschuivingscalamiteiten • Voorkomen dat een constructie wordt gebouwd in een geotechnische gevarezone	
54	1	(S) Vul het reservoir langzaam en zorg dat er ook aan de voet van de dam mogelijkheden zijn om het water snel weg te laten stromen (S) Zorg er voor dat al het contact van de dam met de omgeving waterdicht en voorzien van filter- en drainagesystemen is (S) Zorg dat je in het geval van calamiteiten meerdere veiligheidsmaatregelen hebt geïntegreerd in je ontwerp (lines of defense) (S) Zorg er altijd voor dat het ontwerp gecontroleerd wordt door een onafhankelijke instantie, hoe succesvol je architect in het verleden ook mag zijn geweest (S) Zorg voor een continue contact tussen bouw en architect, om zo tijdig en correct te anticiperen op onvoorziene omstandigheden.	• Voorkomen dat bij het zien van schade aan de dam als gevolg van het vullen van het reservoir het water niet snel genoeg weg kan • Voorkomen dat water via scheuren in omringende materiaal de dam inwendig beschadigt • Zelfs de beste ontwerpen komen soms onvoorziene omstandigheden tegen en vragen andere veiligheidsoplossingen dan vooraf geïnticeerd • Voorkomen van onnodige ontwerpfouten • Voorkomen van uitvoeringsfouten, niet conform aan ontwerp of situatie	
54	2	(S) Zorg voor een goed ontwerp van de damcomponenten die lekkage en erosie moeten voorkomen	• Voorkomen van catastrofale uitwerking van kleine erosies en lekkages	
55	1			
56	1			
26	2	(S) Onderschat de waterkracht niet. Maak ontwerp robuuster (S) Test het ontwerp op schaal in een lab	• Voorkomen van functionele schade aan zeewering	
57	1	(S) Onderschat de waterkracht niet. Maak ontwerp robuuster (S) Test het ontwerp op schaal in een lab	• Voorkomen van functionele schade aan zeewering	
58	1	(S) Onderschat de waterkracht niet. Maak ontwerp robuuster (S) Test het ontwerp op schaal in een lab	• Voorkomen van functionele schade aan zeewering	
59	1	(S) Onderschat de waterkracht niet. Maak ontwerp robuuster (S) Test het ontwerp op schaal in een lab	• Voorkomen van functionele schade aan zeewering	
60	1	(S) Onderschat de waterkracht niet. Maak ontwerp robuuster (S) Test het ontwerp op schaal in een lab	• Voorkomen van functionele schade aan zeewering	
61	1	(S) Onderschat de waterkracht niet. Maak ontwerp robuuster (S) Test het ontwerp op schaal in een lab	• Voorkomen van functionele schade aan zeewering	
62	1	(S) Onderschat de waterkracht niet. Maak ontwerp robuuster (S) Test het ontwerp op schaal in een lab	• Voorkomen van functionele schade aan zeewering	
63	1	(S) Onderschat de waterkracht niet. Maak ontwerp robuuster (S) Test het ontwerp op schaal in een lab	• Voorkomen van functionele schade aan zeewering	

I = Incidenteel, S = Structureel

Bijlage 10: Totstandkoming Failure Mandala (Hatamura, 2005)



by JST Hatamura Committee 2002

Structure and Expression of Failure Knowledge Database

March 2005

Dr. Yotarou Hatamura

Supervisor, Failure Knowledge Database Project

Japan Science and Technology Agency (JST)

The Need for a Structured Expression of Failure

When we look at the recent high incidence of a diverse variety of failure in Japan, we could be forgiven for thinking that we are witnessing failure on parade. What are the reasons for this frequency of failure? What can we do to prevent the repeated occurrence of failures? A variety of organizations and individuals are active in well thought-out initiatives to prevent the recurrence of failures. The most common activity is the production of compilations of case studies of events such as failures, problems, and accidents. Businesses serious in this field have been working hard to produce compilations of failure case studies. But these compilations are hardly ever made use of. From the point of view of the people who produce such compilations, whose aim is to see their work put to use to prevent unnecessary repetition of failure, it must be particularly frustrating to see their work ignored and the same failures repeated. One of the reasons why such compilations are not used is that failure knowledge is not being effectively communicated.

In fact, one of the purposes of the Japan Science and Technology Agency in creating the Failure Knowledge Database was precisely to provide a means of communicating failure knowledge. The main reason why the many diverse compilations of failure case studies are not being applied in practice is that knowledge of past failures is not being communicated to the very people interested in applying this knowledge to prevent failure. If we can properly communicate failure knowledge, and if the people receiving that knowledge can use it correctly, then the needless repetition of failure can be halted. Accordingly, we should ask the question "What is the best way to communicate failure knowledge?" The answer is to give people who encounter failure a clear idea of how to structure failure knowledge, and have them describe a case study of the failure in terms of that structure. This then makes that failure knowledge easier to find and access for anybody wishing to learn from that experience, and, as the procedure of structuring failure knowledge is repeated, that procedure becomes better known and more widely established. The most important concept here is the structuring of failure knowledge. When structuring failure knowledge, the most important aspects are breaking the failure down into its component parts and expressing that breakdown clearly. This is shown in Fig. 1.

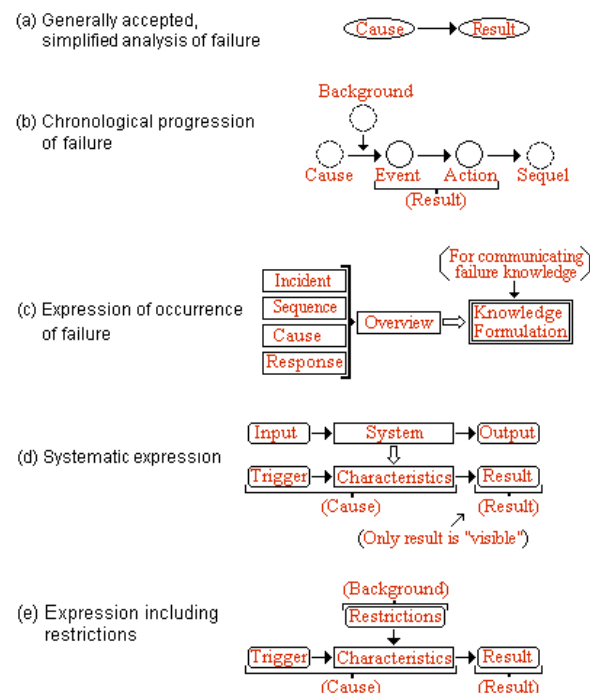


Figure 1: Analysis and Expression of the Occurrence of Failure

Most people, when they analyze a failure, see it in terms of "cause and result" (Fig. 1, Caption (a)): First the cause takes place, followed by its inevitable effect, or result, as we refer to it. This is a simple, easy-to-grasp analysis that most people have no problem taking in, but it has one significant drawback. It assumes that where a cause exists, a result will always follow, but does not allow for cases where a cause exists and no result follows. According to the currently prevalent way of thinking, if the cause is removed, the result will not follow.

But is this really the case? Is it not really the case that, on many occasions when failure has been dealt with by applying this way of thinking, it has merely led to the repetition of failure? Let us take a look at the chronological progression of a failure (Fig. 1, Caption (b)). In fact, all we can really see are the events that take place in front of our eyes. We cannot see the cause or the background. As a developing failure becomes evident as a failure, a person takes action to deal with the unfolding sequence of events. We can think of these events and the action taken in response to them as results. In addition, a variety of related developments take place. The best term to describe such developments is "sequels".

Let us now consider how to express the occurrence of failure in the easiest possible way for people wishing to make use of failure knowledge to take in (Fig. 1, Caption (c)). First we have the "incident" (in other words the failure that has occurred); next we have the "sequence" of the failure (how the failure develops with the passage of time); then we have the "cause" (what the presumed cause is and whether or not it is noticed at the time of failure); finally we have the "response" (the action taken in response to the failure). These four stages are combined to give the "overview". Expressing an occurrence of failure in terms of these five items makes the task of obtaining a comprehensive understanding of that failure much easier for people wishing to learn from it. Failure knowledge - what we can actually learn from the failure - must then be extracted from this information and formulated in such a way (as a "knowledge formulation") that it can be readily communicated to people wishing to make use of it. The six items identified in this paragraph comprise the minimum requirements of a coherent expression of failure.

We can also view failure as a unified system (Fig. 1, Caption (d)). In the fields of science and engineering, the occurrence of an event is viewed in its entirety as a single system, through which input leads to output. These three elements (input, system, and output) could otherwise be termed trigger, characteristics, and result. In an actual engineering system, all three elements can be seen, but in a "failure system" only the result is visible - the trigger and characteristics that lead to it are not. In order to view failure as a system, it is necessary to "look back" from the result and guess or estimate the trigger and characteristics, then to verify the accuracy of these guesses or estimates to positively identify the trigger and characteristics. Once the characteristics have been identified, it is possible to view the failure in terms of characteristics, with a trigger leading to a result. The joining of trigger and characteristics as described here is equivalent to the "cause" in the "cause and result" mentioned above, by which most people commonly define failure.

When failure actually occurs, and the trigger and characteristics are determined by "working back" from the result, it becomes clear that one more important element is missing. The occurrence of failure is tempered by certain restrictions (Fig. 1, Caption (e)). In any system with given characteristics, a trigger works on those characteristics, but those characteristics are in fact also subject to certain restrictions, and these restrictions can also play a part in the occurrence of failure. In this way of thinking, the trigger and characteristics represent the "cause" in the "cause and result" mentioned above, and the restrictions are often equated with the "background".

Structure and Sequence of Failure

It is often said that all failure is the result of human error and, of course, "we all make mistakes". When a person experiences failure, it often seems that only the "result" is apparent, particularly to those not directly concerned with or affected by the failure. However, once we investigate and analyze that failure, we understand that a failure consists of a cause, in response to which a person takes action, leading to the resulting failure. In this reasoning, action can be regarded as the human intervention that links the cause and result of the failure, neither cause alone nor action alone will lead to failure, and failure can only result when both cause and action exist. If we create a sequence of events based on this way of thinking, we first have a human cause, followed by human action, leading to a result (Fig. 2, Caption (a)).

In the Failure Knowledge Database, we refer to the cause --> action --> result sequence that leads to failure as a "scenario". As an example, look at the following two chains of events:

- Through my own carelessness, I forgot to turn off the switch and a fire started.
- Because I was looking to one side, I didn't turn in time and I ran into a wall.

The similarity of the two scenarios is quite clear: The first phrase of each case ("Through my own carelessness" and "Because I was looking to one side") represents a cause that we can identify as carelessness; the second phrase ("I forgot to turn off the switch" and "I didn't turn in time") represents an action (in fact an action that should have been taken but was not); the third phrase ("a fire started" and "I ran into a wall") represents a resulting failure. We can represent this graphically as a "failure tree" (Fig. 2, Caption (b)). The tree consists of the trunk (cause), the boughs (actions), and the branches (results) all of which are bound together in the whole. Taking the analogy further, we can say that the case studies hang from the branches like the fruit of a tree. A branch from which many case studies hang represents a scenario in the real world that often results in failure. Using this tree expression, it becomes easier to determine what kind of scenario only rarely results in failure and what kind of scenario results in deadly failure. Taking the analogy still further, we can say that a group of failure trees in proximity represents a "failure forest" (Fig. 2, Caption (c)). We identified ten "human" causes of failure: "Carelessness", as described above, "Unknown Cause", "Ignorance", "Misjudgment", "Ignorance of Procedure", "Insufficient Analysis or Research", "Poor Response to Change in Environment", "Poor Concept", "Poor Value Perception", and "Organizational Problems". If we create one tree per cause, these ten trees together form the failure forest, through which we can express any failure.

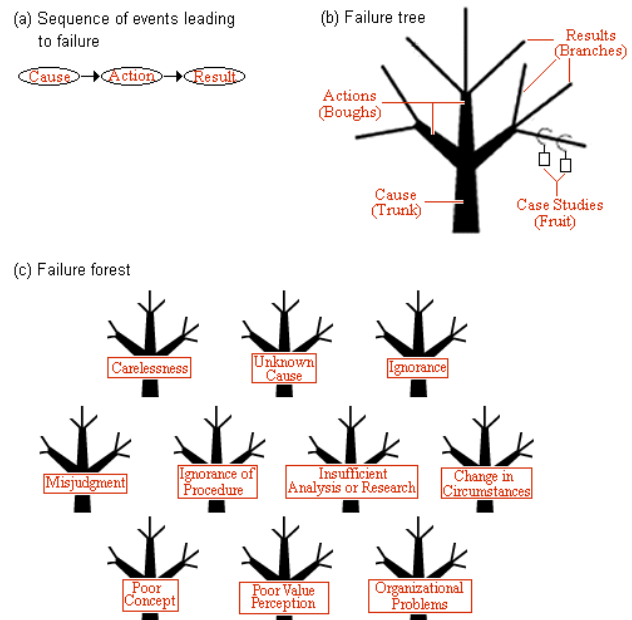


Figure 2: Structure and Sequence of Failure

Next, we look at a three-dimensional expression of the occurrence of failure (Fig. 3). As mentioned above when describing the failure tree, failure consists of "human" causes that form the basis of subsequent human actions. The result of those actions leads to the occurrence of failure. These three components of failure are shown in Fig. 3, Caption (a). Cause is represented as the bottom layer, action as the middle layer, and result as the top layer. By using solid lines to represent the connections between these components, we can produce a three-dimensional expression of the scenario of a failure. Fig. 3, Caption (b) shows the sequence reversed, with the cause positioned at the top and the result at the bottom. If we apply this sequence to the first of the examples mentioned above ("Through my own carelessness, I forgot to turn off the switch and a fire started"), we can draw a line from the cause "Carelessness" to the action "Non-Regular Movement", and on to the result "Bad Event". If we apply the same sequence to the second of the examples mentioned above ("Because I was looking to one side, I didn't turn in time and I ran into a wall"), we again see "Carelessness" as the cause, followed by the lack of action, Non-Regular Movement, leading to the Bad Event that is the collision. By applying this three-dimensional expression to a variety of case studies, we can determine not only what kind of scenario develops in what kind of situation, but also, because a scenario with many case studies is represented with a concentration of connecting lines, the frequency with which a given scenario leads to failure. Such information can then be used to predict and prevent failure.

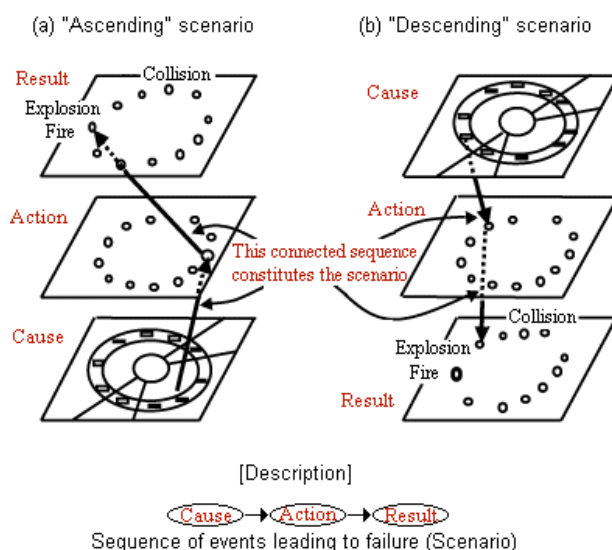


Figure 3: Three-Dimensional Expression of the Occurrence of Failure

Expressing the Elements of Failure through Mandalas

In this section, we explore the hierarchical relationship between the elements that make up the components of failure, taking as an example one of the elements of "cause". (In Fig. 4. and subsequent diagrams this element is "Carelessness".) If we assume Carelessness to be a "parent" concept, we can identify a variety of "child" concepts (such as "by accident" or "through distraction") which can themselves have child concepts. If we represent this idea in pyramid form, we have a structure such as in Fig. 4, Caption (a). If we represent the same information as a cladogram, we have a structure such as in Fig. 4, Caption (b). If we then collect all of the "parents" (along with their "children") that are identified as causes of failure and combine them in a single diagram, with lines drawn to show links as in a node diagram, we have a structure such as in Fig. 4, Caption (c). This type of diagram maps all of the elements of cause of failure and illustrates their hierarchical relationship. Specializing one step further, if we represent each ring of nodes as a concentric circle, we have a structure such as in Fig. 4, Caption (d), which we refer to as a "mandala". (Mandalas are Buddhist representations of the universe and Buddhist teaching that we took as inspiration for our innovative method of expressing failure knowledge.) At the heart of the mandala is the central concept. The inner ring contains what we refer to as the top level elements. Whether for cause, action, or result, it eases understanding to divide this level into 10 key phrases. The outer ring contains what we refer to as the second level elements, of which there are 20 to 30 for each mandala. In the classification system used for the Failure Knowledge Database, we have arranged a third level of elements outside the second level ring. The third level elements are designed to be more specifically tailored to particular fields and case studies. The top and second levels are designed so that they can be applied to case studies in any field, but the third level classifications are designed to be field-specific.

We have created three mandalas: one each for Cause, Action, and Result. Hereafter the three mandalas are referred to as "Failure Mandalas".

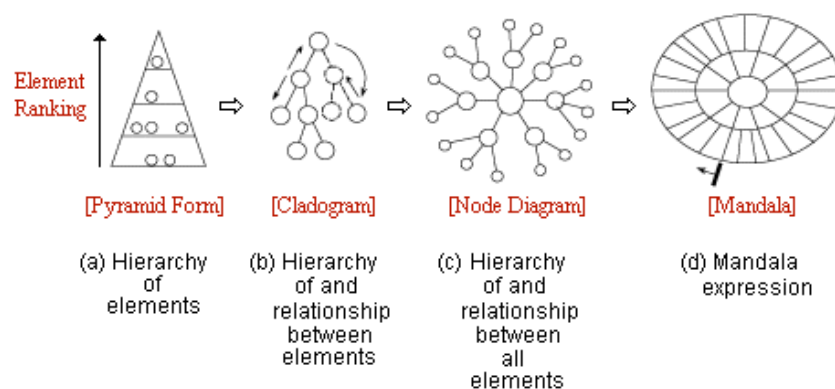
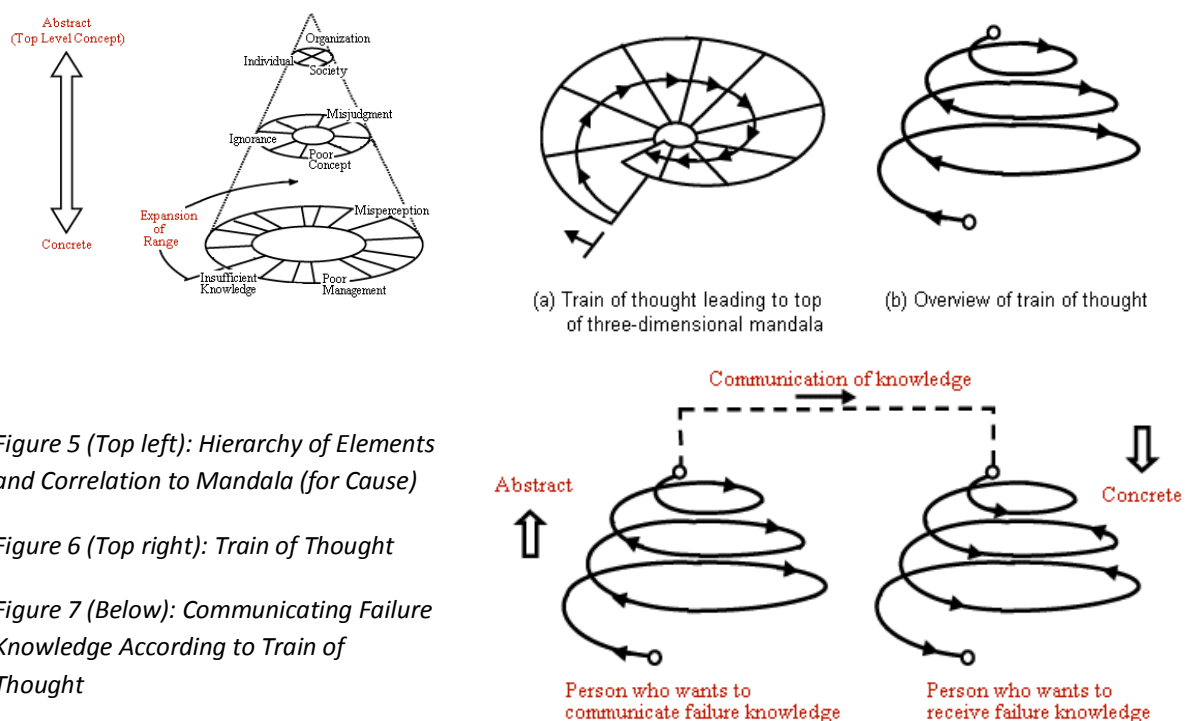


Figure 4: Type and hierarchy for the Elements of Failure

Next, we look at creating a three-dimensional version of one of the mandalas (in this case, cause; see Fig. 5). With many failures, analysis reveals the elements of cause to be factors such as carelessness or lack of preparation. By analyzing these factors, we can extract and define classifications of types of cause, such as the top level concepts "Ignorance" and "Misjudgment".

However, if we view the elements of cause from a different standpoint, we can see that there are other means of classification. For example, "Carelessness" can be classed as a cause for which the individual is responsible, "Poor Concept" can be classed as a cause for which the organization is responsible, and "Change in Environment" can be classed as a cause for which society is responsible. In other words, there is another thought process that involves relating causes to the expansion of the selected range from the individual, through the organization, to society. By following this train of thought, we see that, in the process of investigating the elements of cause, even as there is a toing and froing of thoughts between the abstract and the concrete, or between the individual and society, viewed overall, there is a "rise" toward abstract, top level concepts starting from individual, concrete elements and passing through organizational and societal elements.

This way of thinking is illustrated in Fig. 6, Caption (a), which shows a mandala opened out into a spiral staircase that spirals clockwise, inward, and up, gradually rising to the center. In Fig. 6, Caption (b), the spiral staircase is removed, showing the thought path only as a whole. This path spirals inward and upward to the top and center, and it is the idea that we find here that we can regard as the genuine top level concept, and thus communicate to others as failure knowledge. The communication of failure knowledge is illustrated in Fig. 7. As illustrated on the left side of Fig. 7, a person who wants to communicate information on a failure must process that information from concrete details to abstract "top level concept (failure scenario) of cause, action, and result" along the rising thought spiral in order to formulate workable failure knowledge. Only then, as failure knowledge, can the information be successfully passed on to others. In similar fashion, the right side of Fig. 7 illustrates how a person who wants to receive information on a failure first receives that information in abstract form as a failure scenario. The recipient then processes that scenario via a descending thought spiral in order to extract concrete, practically applicable failure knowledge.



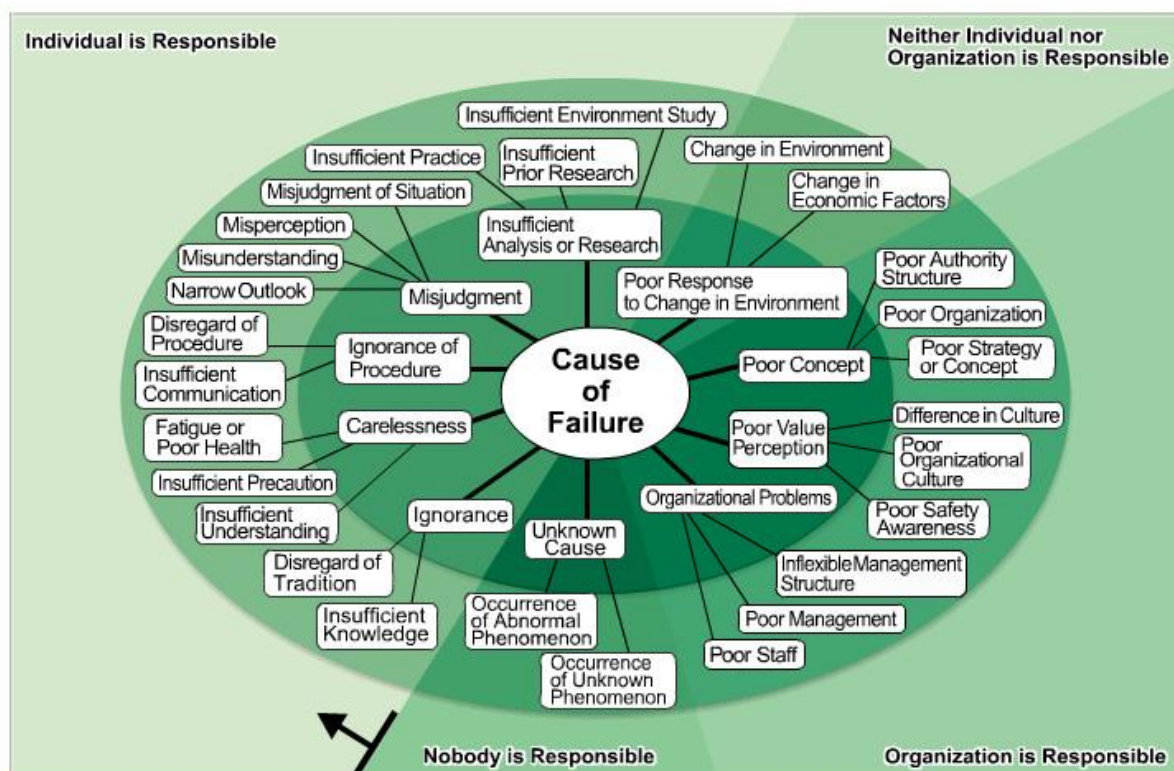
Bijlage 11: Toelichting Failure Mandala (Hatamura, 2005)

Cause Mandala

There are 10 top level key phrases and 27 second level key phrases. These key phrases can be applied to any of the four fields (Mechanical Engineering, Material Science, Chemicals and Plants, and Civil Engineering) that are used in the creation of the database. At the top level, we divide the classifications into four broad groups depending on "who" or "what" is to blame: Nobody is Responsible, Individual is Responsible, Organization is Responsible, and Neither Individual nor Organization is Responsible.

- Nobody is Responsible is represented in the Mandala as Unknown Cause.
- Individual is Responsible is split into five subclassifications: Ignorance, Carelessness, Ignorance of Procedure, Misjudgment, and Insufficient Analysis or Research.
- Neither Individual nor Organization is Responsible is represented in the Mandala as Poor Response to Change in Environment.
- Organization is Responsible is split into three subclassifications: Poor Concept, Poor Value Perception, and Organizational Problems.

Note that we consider the second level key phrases Change in Environment and Change in Economic Factors of the top level key phrase Poor Response to Change in Environment to be essentially the result of external factors that cannot satisfactorily be classed as the responsibility of either an individual or an organization.



by JST Hatamura Committee 2002

Leeswijzer:

- **[[Naam 1^{ste}-graads oorzaakcategorie]]:** [Opsomming bijbehorende 2^{de}-graads oorzaakcategorieën
Omschrijving van deze 1^{ste}-graads oorzaakcategorie van falen]
 - **[[Naam 2^{de}-graads oorzaakcategorie]]:** [Omschrijving van deze 2^{ste}-graads oorzaakcategorie van falen (Hatamura, 2005)]

Individual is Responsible

- **Ignorance** : Insufficient Knowledge - Disregard of Tradition
Individuals not knowing the standard way to prevent or solve failure, even if such knowledge is well known.
 - **Insufficient Knowledge**
An individual or the people around him/her not knowing about established, known technical information.
 - **Disregard of Tradition**
An individual not knowing about an industry or enterprise's conventions.
- **Carelessness** : Insufficient Understanding - Insufficient Precaution - Fatigue or Poor Health
Failure that could have been prevented by paying attention. Situations of being extremely busy or in poor physical condition causing a person to not pay sufficient attention.
 - **Insufficient Understanding**
Failure caused by an individual having only superficial understanding of the fundamental issues of a procedure.
 - **Insufficient Precaution**
Failure caused by an individual not paying sufficient attention because he/she is busy or cannot be bothered. Failure caused by an individual not taking adequate, known precautions.
 - **Fatigue or Poor Health**
Fatigue or poor physical condition causing an individual to not pay sufficient attention.
- **Ignorance of Procedure** : Insufficient Communication - Disregard of Procedure
Failure caused by an existing procedure or rule not being followed.
 - **Insufficient Communication**
Failure caused by information being inadequate or not being communicated adequately to those that need it.
 - **Disregard of Procedure**
Failure caused by established procedures or methods, whether formal or informal, being ignored.
- **Misjudgment** : Narrow Outlook - Misunderstanding - Misperception - Misjudgment of Situation
A situation is not understood correctly, leading to an error of judgment. Evaluation criteria are incorrectly applied, the procedure by which decisions are made is not correctly followed, or elements normally expected to be considered in the decision-making process are missing.
 - **Narrow Outlook**
Failure caused by an individual only considering a single aspect of a situation or ignoring possible and pertinent relationships between things and/or events.
 - **Misunderstanding**
Failure caused by an individual understanding neither the situation nor its background principles and structures. For example, in the case of a leaking container of combustible gas, an individual may think that the way to turn off the valve is to turn it in a clockwise direction, as is normal. However, some valves turn off in the opposite direction, and turning such a valve clockwise would increase the leak.
 - **Misperception**
Failure caused by individuals believing they are acting in the correct manner, but in fact are not because of a misapplication of their knowledge. For example, in the case of a leaking container of combustible gas, an individual may know that the correct way to turn off the valve is to turn it in an anti-clockwise direction (that is, not the "normal" direction), but through a lapse in thought turn the valve in the opposite direction, thus increasing the leak.

- **Misjudgment of Situation**
Failure caused by an individual not understanding what is happening. For example, an individual may discover a fire and, believing it to be fueled by wood, spray water on it. But if the fire is in fact caused by burning cooking oil, spraying water will cause the fire to spread.
- **Insufficient Analysis or Research** : Insufficient Practice - Insufficient Prior Research - Insufficient Environment Study
Failure caused by lack of preparation in the decision-making process. Higher up the decision-making ladder, failure caused by not considering appropriate action to take if problems occur.
 - **Insufficient Practice**
Failure caused by lack of practice or because practice conditions do not match actual conditions. Hazardous Operability Training (HAZOP) and Fault Tree Analysis (FTA) are examples of virtual testing systems that are certified by industry.
 - **Insufficient Prior Research**
Failure caused by insufficient research into component parts and chemicals of products, including controls over production methods regarding adherence to safety rules, functions, and characteristics. For example, there are many cases of the reactivity of chemicals not being adequately researched, leading to failure.
 - **Insufficient Environment Study**
Research into the environment in which a substance or product is to be used or the economic environment is either inadequate or conditions change after the research is complete.

Neither Individual nor Organization is Responsible

- **Poor Response to Change in Environment** : Change in Environment - Change in Economic Factors
Failure due to a change in circumstances with insufficient time to adapt accordingly.
 - **Change in Environment**
The environment at the time of initiation of a project changes by the time of completion of the project, but there is insufficient time to adapt the project appropriately.
 - **Change in Economic Factors**
The economic environment at the time of initiation of a project changes by the time of completion of the project, but there is insufficient time to adapt the project appropriately (for example, due to sudden fluctuations in interest rates or exchange rates).

Organization is Responsible

- **Poor Concept** : Poor Authority Structure - Poor Organization - Poor Strategy or Concept
Failure caused by problems at the planning stage or in the plan itself. Individuals working on plans conceived by predecessors or superiors may sometimes take responsibility for the failure of those plans.
 - **Poor Authority Structure**
Failure caused by not obtaining the necessary permission or rights (such as patents) to complete a project.
 - **Poor Organization**
Failure caused by flawed or inflexible organization structure.
 - **Poor Strategy or Concept**
Failure caused by poor strategy or concept.
- **Poor Value Perception** : Difference in Culture (for example, failure to adjust to different customs) - Poor Organizational Culture - Poor Safety Awareness
Failure caused by individuals holding a different outlook or values from the people around them. Failure when a company gives more priority to profit than to observing rules.
 - **Difference in Culture**
Failure caused by differences in culture and failure to adjust to or understand the surrounding culture. Technology from one culture may be misunderstood in another culture or have different standards or measurement units.

- **Poor Organizational Culture**
The rules of the corporation override the rules of society so that societal responsibility is neglected. Covering up a relatively minor failure to avoid negative consequences, leading to more substantial failure. Recent examples include the failures that occurred at Snow Brand Milk LTD, Nippon Meat Packers, Inc, and Mitsubishi Motors.
- **Poor Safety Awareness**
Lax safety standards and awareness due to inadequate control by the body responsible for safety because of, for example, the safety supervisor's assumption that somebody else will take responsibility for safety or cost-cutting measures at the expense of safety. A notorious example of this is the battery factory disaster in Bhopal, India.
- **Organizational Problems** : Inflexible Management Structure - Poor Management - Poor Staff
Failure caused by organizational shortcomings preventing the smooth flow of operations. Executives and managers realize their responsibility for guaranteeing the flow of operations, but neglect that responsibility, which may make problems worse.
 - **Inflexible Management Structure**
In organizations with vertically structured management systems or unclear assignment of authority and responsibility to personnel, relatively minor decisions may need to be taken by high-level management and confrontation of problems is easily put off. In such cases, if a problem occurs, the organization and its staff cannot respond quickly enough or lack the authority to respond.
 - **Poor Management**
Failure caused by problems of management such as top-level management decisions not being communicated throughout the organization, management not being fully aware of the true situation at lower levels, and superiors not adequately supervising subordinates.
 - **Poor Staff**
Failure caused at "shop-floor" level, for example by subordinates failing to raise a problem with superiors, by individual selfishness affecting decision-making, or by lack of willingness to learn. Apart from failure explicitly caused by laziness or sabotage, blame for this kind of failure usually rests equally with the management and the managed.

Nobody is Responsible

- **Unknown Cause** : Occurrence of Unknown Phenomenon - Occurrence of Abnormal Phenomenon
Failure caused by a previously unknown phenomenon. The thread of human history can be said to be a catalogue of advances in science and technology brought about as countermeasures to failures caused by phenomena encountered for the first time. Such failures can be learned from and can be said to be blessings in disguise.
 - **Occurrence of Unknown Phenomenon**
Failure caused by conditions or events that cannot be foreseen using current knowledge or experience, as they have never happened before.
 - **Occurrence of Abnormal Phenomenon**
Failure caused by phenomena that can be understood using current knowledge, experience, theories, or thinking, but have never been reported or experienced in this context, for example.

Note that the third level items are not included in the Cause Mandala. This is because this level is meant for field-specific items, to be created as relevant and required and positioned under the appropriate second level item.

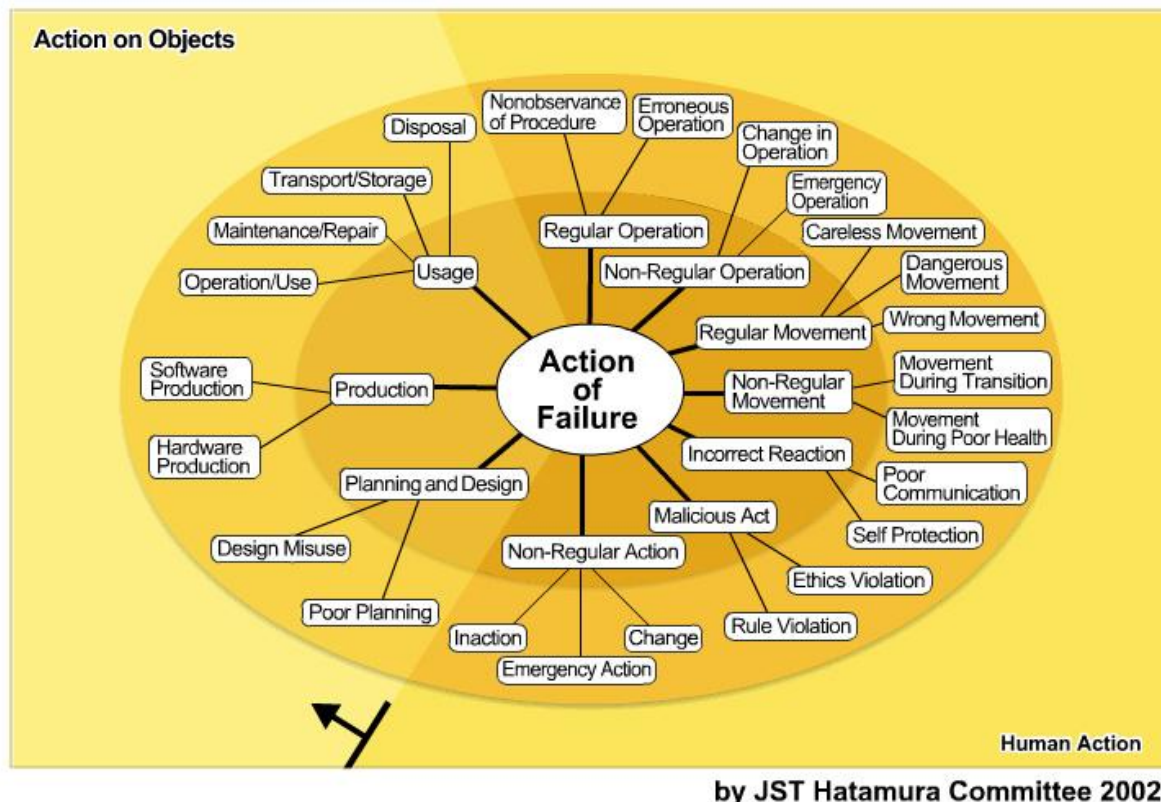
Action Mandala

There are 10 top level key phrases and 24 second level key phrases. These key phrases can be applied to any of the four fields (Mechanical Engineering, Material Science, Chemicals and Plants, and Civil Engineering) that are used in the creation of the database. At the top level, we can divide the classifications into two broad groups: failure through the actions of individuals on objects (Action on Objects) and failure through the actions themselves (Human Action).

- Action on Objects is subdivided into Planning and Design, Production, and Usage.
- Human Action is subdivided into Regular Operation, Non-Regular Operation, Regular Movement, Non-Regular Movement, Incorrect Reaction, Malicious Act, and Non-Regular Action.

When we consider the actions of individuals, we can broadly classify them into two groups: Regular and Non-Regular. Regular action refers to action taken by an individual that leads to failure regardless of whether or not there are any changes in external factors related to the situation. Non-regular action refers to action taken by an individual that leads to failure when changes in external factors occur and the individual's response to those changes is lacking in some way. Whereas, in the case of regular action, it is possible to implement preventive measures such as training and precautionary procedures, such measures are difficult to identify in the case of regular action, leaving the individual to bear the brunt of the blame. Note that, from their experience, many specialists attribute almost all failure to changes in objects and circumstances, but in our classification such failures correspond to failures caused by non-regular actions of individuals. (These failures are sometimes referred to as failures at the point of change.)

Note that some key phrases, such as Poor Planning and Nonobservance of Procedure, can be thought of as both cause and action, and so are included in both the Cause Mandala and the Action Mandala.



Action on Objects

- **Planning and Design** : Poor Planning - Design Misuse
This also includes such aspects as copycat design and licensed production.
 - **Poor Planning**
Failure caused by a plan that is inadequate or impossible to execute. This includes plans for construction, construction management plans, operational plans, and scheduling.
 - **Design Misuse**
Failure caused by using a design for other than its original purpose without modifying or understanding the design or its purpose. (This includes copycat designs and licensed production.) For example, operation methods, instrumentation systems, software systems, and office management.
- **Production** : Hardware Production - Software Production
This includes the manufacture of tools, machinery, and materials, as well as architecture and construction works.
 - **Hardware Production**
Failure caused by badly produced machinery, tools, and other equipment. However, if the fault lies with the software controlling the hardware, that is considered a software failure.
 - **Software Production**
Failure caused by badly produced software not performing well. This includes software design, as well as the selection and purchase of electrical goods and instruments that use the software.
- **Usage** : Operation/Use - Maintenance/Repair - Transport/Storage - Disposal
 - **Operation/Use**
Using machinery beyond the limits of its design or not according to the instructions. For example, reckless driving.
 - **Maintenance/Repair**
Failure caused by inadequate maintenance or repair. For example, using the wrong lubricant in machines with moving parts or repairing by the wrong method.
 - **Transport/Storage**
Failure caused by inadequate transportation or storage methods. For example, transporting at room temperature chemicals that require refrigeration or transporting sensitive measuring equipment in a truck with inadequate suspension.
 - **Disposal**
Failure rooted in the preparation for, location of, or method of disposal. Note that violations of ethics/morality by persons involved in the disposal procedure are classified under Malicious Act below.

Human Action

Human actions are divided into three categories: Operation, Behavior, and Action.

Operation covers actions taken to initiate the actual use of tools, machinery, and other equipment. For example, the opening and shutting of valves and the driving of motor vehicles.

Behavior covers the physical behavior of individuals operating or preparing to operate tools, machinery, and other equipment. This includes accidents caused by colliding with objects, dropping things, stumbling, and falling down.

Action covers the intentional or willful actions by individuals and interaction between individuals, but excludes actions on physical objects (which are covered by Operation and Behavior).

The second level Human Action categories are listed and described below.

- **Regular Operation** : Nonobservance of Procedure - Erroneous Operation
Times at which people operate tools, machinery, and other equipment as normal, including times when not operating tools, etc.
 - **Nonobservance of Procedure**
Failures caused by individuals not following proper procedure when operating tools, etc.

- **Erroneous Operation**
Using the wrong settings during operation or misusing tools, etc. For example, entering incorrect values in a control panel or indicating left when turning right in a car.
- **Non-Regular Operation** : Change in Operation - Emergency Operation
People operating tools, machinery, and other equipment in a way other than is normal. This includes starting and stopping in an emergency.
 - **Change in Operation**
Operational procedures are occasionally changed. Individuals may use an old procedure by mistake, leading to failure.
 - **Emergency Operation**
Failure caused by using the wrong procedures or methods due to the need to take urgent action, including failure to take evasive action. For example, not noticing traffic jam ahead and failing to brake in time.
- **Regular Movement** : Careless Movement - Dangerous Movement - Wrong Movement
Actions or movement by the operator when operating tools, machinery, and other equipment normally, including collisions, falling, dropping, and inaction.
 - **Careless Movement**
Movement without taking into account the immediate situation. For example, standing up while working in a confined space and hitting one's head.
 - **Dangerous Movement**
Movement without heed to safety. For example, riding a bicycle on a crowded pavement.
 - **Wrong Movement**
Failure due to movement guided by misunderstanding, misconception, or lack of appropriate knowledge. For example, making a left turn when one should have turned right to reach a destination.
- **Non-Regular Movement** : Movement During Transition - Movement During Poor Health
People operating tools, machinery, and other equipment in a way other than is normal.
 - **Movement During Transition**
Failure caused by individuals not knowing about changes in circumstances. Individuals panicking because of an unforeseen event and causing a failure.
 - **Movement During Poor Health**
Failure caused by a decrease in an individual's judgment or ability because of bad physical condition.
- **Incorrect Reaction** : Poor Communication - Self Protection
This includes when information is misrepresented, concealed, or ignored.
 - **Poor Communication**
Failure because required information (including instructions and reports) was not communicated. This does not include cases where individuals withhold information for reasons of self-protection.
 - **Self Protection**
Failure caused by individuals acting to protect themselves and/or their relatives. This includes putting off decisions, misrepresenting, concealing, and ignoring information, presenting false information, and buck-passing.
- **Malicious Act** : Ethics Violation - Rule Violation
Failure due to an incorrect or wrong act. An act contrary to the law or to current society's expectations of correct behavior.
 - **Ethics Violation**
Failure caused by violations of standards, including non-codified standards. For example, violations of ethics, morality, religion, common law, and agreements.
 - **Rule Violation**
Violations of public law, a corporation's ordinances or bylaws, or of design standards such as Japanese Industrial Standards (JIS) or American Society of Mechanical Engineers (ASME). This includes breaking a contract.

- **Non-Regular Action** : Change - Emergency Action - Inaction

This is a broad classification for failure caused outside of normal situation and conditions. This includes organizational changes, changes to plans, and failure to act due to panic brought about by such changes.

- **Change**
Failure caused or partly caused by change.
- **Emergency Action**
Failure caused by reacting to an emergency in a way that is not normal behavior. This includes panicked reactions.
- **Inaction**
Failure caused by necessary action not being taken.

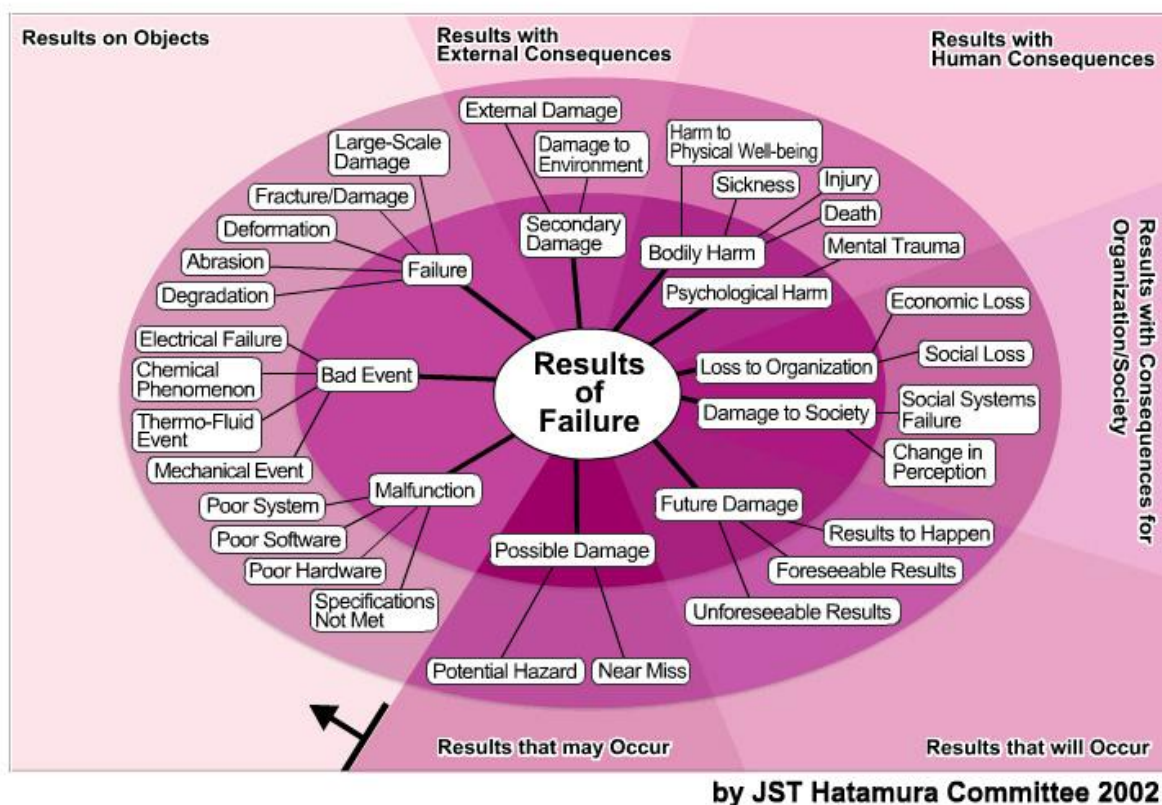
Note that the third level items are not displayed in the Action Mandala. This is because this level is meant for field-specific items, to be created as relevant and required and positioned under the appropriate second level item.

In the Action Mandala, the key phrases are broadly divided into two groups: "Action on Object" and "Human Action". Only "Human Action" is further divided into "Regular" and "Non-Regular". Although the distinction between "Regular" and "Non-Regular" is not explicit for "Action on Object", such a distinction can nonetheless be made. However, as mentioned previously, "Action on Object" by definition involves a sequence leading from initial planning of some sort, followed by creation or production, use, and finally disposal of the object. For ease of understanding, this is more suitably expressed as a sequential pattern than in terms of "Regular" and "Non-Regular" events, and the Action Mandala is designed accordingly.

Result Mandala

There are 10 top level key phrases and 29 second level key phrases. These key phrases can be applied to any of the four fields (Mechanical Engineering, Material Science, Chemicals and Plants, and Civil Engineering) that are used in the creation of the database. At the top level, we divide the classifications into six broad groups depending on "who" or "what" is affected by the failure: Results on Objects, Results with External Consequences, Results with Human Consequences, Results with Consequences for Organization/Society, Results that will Occur, and Results that may Occur.

- Results on Objects is split into three subclassifications: Malfunction, Bad Event, and Failure.
- Results with External Consequences is represented in the Mandala as Secondary Damage.
- Results with Human Consequences is split into two subclassifications: Bodily Harm and Psychological Harm.
- Results with Consequences for Organization/Society is also split into two subclassifications: Loss to Organization and Damage to Society.
- Results that will Occur is represented in the Mandala as Future Damage.
- Results that may Occur is represented in the Mandala as Possible Damage.



Results on Objects

- **Malfunction** : Specifications Not Met - Poor Hardware - Poor Software - Poor System
Failure caused by products not performing as they should.
 - **Specifications Not Met**
Failure caused by a product not performing according to its specifications.
 - **Poor Hardware**
Failure caused by hardware not performing as it should.
 - **Poor Software**
Failure caused by software not performing as it should.
 - **Poor System**
Failure caused by a system not performing as it should.
- **Bad Event** : Mechanical Event - Thermo-Fluid Event - Chemical Phenomenon - Electrical Failure
Occasionally, what could be thought to be a negligible phenomenon triggers matters of great importance. For example, such occurrences as vibration, wear, heat generation, combustion, and leakage. The reason that Thermo-Fluid Event is a category here is that recently there have been many problems that cannot be categorized as heat only or fluids only.
 - **Mechanical Event**
Mechanical defects caused by such occurrences as vibration or wear, but excluding actual damage.
 - **Thermo-Fluid Event**
Failure caused by problems concerning fluids, heat, or both (generally the two are inseparable), such as heat transfer, temperature gradient, turbulent flow of gas or liquid, or flow at too high or low a speed.
 - **Chemical Phenomenon**
Failure caused by chemical phenomena, such as combustion, chemical reactions, runaway reactions, and ignition.
 - **Electrical Failure**
Failure caused by electrical events, such as short circuits, static electricity, and power failure.
- **Failure** : Degradation - Abrasion - Deformation - Fracture/Damage - Large-Scale Damage
Failure that involves objects of any scale breaking because of such phenomena as heat damage, corrosion, creep, sinking, and crashing.
 - **Degradation**
The structural integrity of an object deteriorates because of, for example, heat, stress, or a chemical reaction.
 - **Abrasion**
The abrasion of material such as iron plates because of phenomena such as wear, erosion, corrosion, or oxidation leading to a loss of strength or rupture.
 - **Deformation**
A partial or complete change in the shape of such objects as piping or tools, leading to a reduction in functionality.
 - **Fracture/Damage**
Partial or complete breakage of such objects as piping or tools due to fatigue, cracking, stress, or corrosion.
 - **Large-Scale Damage**
Large-scale damage or complete destruction of an object. For example, an airplane crash, a ship sinking, or an explosion at a chemical or power plant.

Results with External Consequences

- **Secondary Damage** : External Damage - Damage to Environment
Relatively large-scale failure that causes subsequent damage or destruction to other objects. For example, pollution caused by fires or explosions, or leaking or emitting toxins into the environment.

- **External Damage**
Events such as fires and explosions that caused by failure of one sort and in turn cause damage to other things.
- **Damage to Environment**
Failure that causes environmental destruction (such as air or water pollution) either directly or indirectly.

Results with Human Consequences

- **Bodily Harm** : Harm to Physical Well-being - Sickness - Injury - Death
Any ill effects on the human body.
 - **Harm to Physical Well-being**
Failure that causes damage to the human body. This category is used when it is not known if the result is sickness, injury, or death.
 - **Sickness**
Failure that causes illness. The sickness can be acute or chronic. This includes such phenomena as miscarriages.
 - **Injury**
Failure that causes injury.
 - **Death**
Failure that causes death.
- **Psychological Harm** : Mental Trauma
This is a third level category including causes of fear, memory loss, loss of confidence, and grief.
 - **Mental Trauma**
Failure that causes mental anguish such as fear, memory loss, loss of confidence, or grief.

Results with Consequences for Organization/Society

- **Loss to Organization** : Economic Loss - Social Loss
Failure that causes a loss to an organization, directly or indirectly. For example, compensation for damages, loss of confidence, or bankruptcy.
 - **Economic Loss**
Tangible losses to an organization such as direct losses caused by accidents, rehabilitation costs, loss of income, and compensation for damages.
 - **Social Loss**
Negative effects on an organization's standing in society, such as loss of sales, loss of confidence, or law suits.
- **Damage to Society** : Social Systems Failure - Change in Perception
Far-reaching negative effects on citizens and consumers, including failure of infrastructure, loss of faith in administrative organs and businesses, and changes in spending habits.
 - **Social Systems Failure**
Disruption to social functions, such as by congestion of lifelines and damaging rumors.
 - **Change in Perception**
General changes in the public's perceptions such as an increase in distrust of administrative organs and businesses and a rise in defensive instincts.

Results that will Occur

- **Future Damage** : Results to Happen - Foreseeable Results - Unforeseeable Results
The publicizing of a potential problem, such as global warming, which may not be apparent as a critical problem at present but will certainly be in the future. This type of failure is often made known as a result of in-house whistle-blowing.

- **Results to Happen**
A failure that is not such a large problem at present but will be a large problem in the future. For example, global warming or the collapse of a public pension scheme.
- **Foreseeable Results**
An event that, although it is not a big problem in the present, is predicted to have large consequences unless action is taken to counter it. For example, worldwide water shortages and climate change caused by the Earth tilting on its axis.
- **Unforeseeable Results**
A failure that we know nothing of at present and have no way of predicting, but will be a large problem in the future.

Results that may Occur

- **Possible Damage : Near Miss - Potential Hazard**
Negative effects that may or may not happen. Events with a low probability of occurring are not differentiated from those with a high probability of occurring.
 - **Near Miss**
An event where a person is close to experiencing a danger, but no accident or failure actually occurs. A situation where a person realizes that a certain (quite feasible) combination of events could have led to failure.
 - **Potential Hazard**
A situation of potential danger, where a certain (quite feasible) combination of events could cause an accident or failure (of which the person concerned may or may not be aware). Includes plans, decisions and actions taken without prior knowledge of future potential risk.

Failure Scenario

The component elements of cause, action, and result described above are grouped according to the structure indicated in Fig. 3, Caption (b) (*bijlage 10*) to create the Failure Mandalas indicated below. In the Failure Knowledge Database, the "flow" down from Cause through Action to Result that makes up the scenario can be easily understood.

Note that, while the Committee for the Promotion of the Failure Knowledge Database believes that the Failure Mandalas are now the best available, it does not regard them as a perfect, finished product. As more and more data is accumulated, analyzed, and added to the database, and as more and more users' opinions are employed to refine the database content and structure, the Committee will update the Failure Mandalas accordingly to keep them as close to perfection as is possible.



Bijlage 12: Toelichting Geo-Impuls programma

Leeswijzer:

- **[[Werkgroepnummer]] [Werkgroepnaam]:** [Omschrijving van het falen welke deze werkgroep aanpakt]
 - **[[Nummer projectvoorstel]] [Naam projectvoorstel]:** *Omschrijving van het falen welke dit projectvoorstel aanpakt*: [Probleemstelling van het projectvoorstel (Geo-Impuls, 2009)]
- **(1) Risicoverdeling geotechniek in projecten:** Falen veroorzaakt door ontbreken van vooraf afgesproken verdeling geo-risico's
 - **(I-2) Risicoverdeling GeoTechniek in Projecten (RV-G):** *Verdeling risico's onbekend in contract door moeilijke vaststelling oorzaak geotechnisch falen:* Met behulp van de RV-G worden geotechnische risico's op een contractuele wijze vastgelegd. Dit wordt gedaan door afspraken te maken over bandbreedten van bijvoorbeeld geotechnische parameters. Hierdoor kan veel eenvoudiger en eenduidiger worden vastgesteld of geotechnische problemen tijdens de uitvoering of na de oplevering van projecten zijn veroorzaakt door (1) een afwijkende bodemgesteldheid, (2) een niet goed op de bodemgesteldheid afgestemd ontwerp of (3) een niet volgens het ontwerp toegepaste uitvoeringswijze. Hierdoor kan sneller overeenstemming worden bereikt tussen partijen en komen geschillen minder snel bij de rechter of in de media. Dit leidt tot kostenbesparingen bij (potentiële) conflicten en draagt bij aan de professionalisering van het imago van de sector.
- **(2) Geo Communicatie Platform:** Falen veroorzaakt door verkeerde verwachtingen van geotechnici en geotechnische kennis
 - **(V-1) Geo-Communicatie Impuls:** *Negatieve publiciteit door verkeerde verwachtingen geotechniek:* Geo-engineering manifesteert zich in de huidige situatie vooral door negatieve publiciteit, vooral dan wanneer de verwachtingen niet worden waargemaakt. Verwachtingenmanagement is het bewust beïnvloeden van de verwachtingen door gedoseerde en eerlijke informatie voorziening. De moderne geo-engineer moet zich, veel meer dan nu, bewust zijn van zijn positie in het verwachtingenkrachtenveld. De huidige underdog positie moet structureel verbeterd worden. De externe oriëntatie moet groter. Vanuit de huidige reactieve, verdedigende, negatieve positie moet er gestreefd worden naar een proactieve, anticiperende, positieve imago positie in het verwachtingenkrachtenveld.
 - **(III-3) Opleiding/onderwijs:** *Gebrekkige technische kennis door focus op vaardigheden in onderwijs:* Het blijkt dat het grootste deel van de faalkosten wordt veroorzaakt doordat de juiste kennis niet op het juiste moment voorhanden is geweest (zie artikel van Tol in Geotechniek). Dit voorstel verbetert die situatie door het techniekonderwijs inhoudelijk sterker te maken. Binnen het techniek onderwijs heeft de afgelopen jaren een belangrijke verschuiving plaatsgevonden van Inhoud (Techniek) naar Vaardigheden. Door binnen het onderwijs de Techniek weer een prominenter plaats te geven zal de kans op fouten als gevolg van gebrekkige kennis dalen.
 - **(II-6) Imagoverbetering via opleiding en onderwijs:** *Gebrekkige geotechnische kennis door onvoldoende aansluitende studieprogramma's:* Huidige aanwas van studenten met belangstelling voor Geo-Engineering is de laatste jaren onvoldoende. Daarnaast sluiten de kennis en competenties van de afgestudeerden onvoldoende aan op de grotere uitdagingen die vanuit de steeds complexer wordende projecten op de sector afkomen.
- **(3) Grondonderzoek in de tenderfase:** Falen veroorzaakt door onvoldoende beschikbaar grondonderzoek in vroege projectfasen
 - **(III-1) Grondonderzoek in de tenderfase:** *Verkeerde ontwerpbeslissingen door onvoldoende beschikbaar grondonderzoek in vroege projectfasen:* Door onvoldoende beschikbaar

grondonderzoek worden in vroege fasen van het project verkeerde ontwerpbeslissingen genomen, waardoor later sprake is van sterk verhoogde risico's.

- **(4) Kwaliteitscontrole in de grond gevormde elementen:** Falen veroorzaakt door verkeerde kwaliteitsverwachtingen ondergronds gevormde elementen
 - **(IV-4) Verbeteren kwaliteitscontrole in de grond gevormde elementen d.m.v. monitoring:** *Verkeerde verwachtingen in de grond gevormde elementen door lastige kwaliteitscontrole:* De kwaliteit van in de grond gevormde producten, zoals palen, diepwanden, injectielichamen, etc blijken in praktijk met enige regelmaat niet te voldoen aan de verwachtingen. Dit wordt vaak pas geconstateerd in situaties waarin herstel zeer lastig en kostbaar is en bovendien is in die situaties vaak al schade opgetreden. Voorbeelden zijn (bentoniet)insluitingen in diepwanden; insnoeringen of scheuren in palen en gaten in injectie lagen.
 - **(II-4) Diepwanden:** *Vertraging en extra kosten door negatieve ervaringen diepwanden:* Ondanks dat diepwanden, zeker internationaal worden gezien als de meest robuuste bouwwijze voor wanden van diepe bouwputten, zijn er de laatste tijd ook negatieve ervaringen, zoals in Amsterdam en Keulen, maar minder desastreus ook in Rotterdam. Deze negatieve ervaringen leiden tot vertraging en extra kosten en in het uiterste geval tot instorting van de bouwput. Gezien het aantal tunnelbouwprojecten en ook andere diepe bouwputten voor ondergronds garages of andere utilitaire voorzieningen is er een belang aan gehecht om het aantal schades terug te dringen en de risico's te beperken.
- **(5) Contracteisen Geotechniek:** Falen veroorzaakt door ontoereikende geotechnische kwaliteitseisen
 - **(I-3) Proceseisen geotechniek vraagspecificatie:** *Geen eenduidige beoordeling van mogelijke biedingen mogelijk door onzichtbare geotechnische risico's in ontwerpkeuzes:* Door het stellen van proceseisen in deel 2 van de Vraagspecificatie worden aanbieders gedwongen geotechnische risico's van een ontwerpkeuze zichtbaar te maken. Dit wordt bereikt door afspraken te maken over een format waarin aangetoond wordt hoe met bepaalde geotechnische aspecten wordt omgegaan. Op deze manier wordt eenduidige beoordeling van mogelijke biedingen beter mogelijk.
 - **(I-1) Kwaliteitseisen in contracten:** *Geotechnisch falen in ontwerp en uitvoering door ontbreken geotechnische kwaliteitseisen:* Door het stellen en controleren van kwaliteitseisen (certificering) aan geotechnische producten en functies wordt de kans op en effecten van falen in het ontwerp en uitvoering verkleind. Dit zorgt voor een reductie van geotechnische faalkosten en maatschappelijke kosten, alsmede een stijging van imago en veiligheid.
- **(6) De ondergrond naar de voorgrond - GeoQ:** Falen veroorzaakt door onvoldoende kennis van bekende geo-risico's
 - **(II-14) Ondergronds Risicomanagement binnen Projecten (GeoQ):** *Onbekendheid met risico's uit de ondergrond door het niet om kunnen gaan met de natuurlijke onzekerheid:* Geo-Engineering gaat vooral om het omgaan met de natuurlijke onzekerheid vanuit de ondergrond en de daaruit voortkomende risico's. Expliciet maken van deze risico's zorgt voor aandacht in alle fasen van projecten voor de mogelijke gevolgen van deze onzekerheid.
 - **(III-4) Classificatie Geotechnische Complexiteit:** *Ontoereikende betrokkenheid geo-engineer door onwetendheid over geotechnische projectcomplexiteit:* Het opzetten van een classificatiesysteem om projecten in te kunnen delen in klassen voor geotechnische complexiteit. Op basis van de geotechnische complexiteit wordt aangegeven welke betrokkenheid van de geo-engineer nodig is. Door vroeg in het project deze stap te maken wordt bewustzijn gecreëerd bij alle betrokken m.b.t. de geotechnische risico's. Door in de opstartfase van een project al een inschatting te maken van de geotechnische complexiteit wordt de geo-engineer in een vroeg stadium betrokken en wordt een juiste inschatting gemaakt van de gewenste betrokkenheid van de geo-engineer. Dit verlaagt de risico's gedurende de looptijd van het project.

- **(V-4) Geo-kenniskracht impuls:** *Verkeerde verwachtingen van geotechnici door variatie in positionering geo-engineer in proces:* Betrokkenen in het proces van risicovolle infrastructurele projecten hebben hoge verwachtingen van de geo-technische adviseur/ engineer in het voorkomen van geo-technisch falen en het daarmee voorkomen van faalkosten. Tekortschieten ten aanzien van de verwachtingen creëert bij de betrokkenen teleurstelling en bij de geo-engineers frustraties die belemmerend zijn voor goede samenwerking en functioneren. Een belangrijke oorzaak van het probleem is de organisatorische inbedding van de geo-engineer in de (project)organisaties. Complicerende factor daarbij is mogelijk de variatie in positionering van de geo-engineering in het proces. Of de geo-engineer is in dienst van de opdrachtgever, of de geo-engineer is onafhankelijk en wordt ingehuurd door opdrachtgever of opdrachtnemer, of de geo-engineer is in dienst van de opdrachtnemende uitvoerder. Organisatorisch positie is daarmee gekoppeld aan belangen en de daaraan gekoppelde verwachtingen.
- **(V-3) Geo-monitorings impuls:** *Onvoldoende overdracht kennis georisico's tussen projectfasen door reactive en weinig eenduidige procedures en management:* Infrastructurele projecten, met de daarin aanwezige geo-technische risico's, worden gedurende de vaak lange looptijd van het project onvoldoende van de ene procesfase naar de volgende overgedragen en onvoldoende door de eindverantwoordelijken gevolgd. Het eindverantwoordelijke management, bestuur, wordt alleen bij(grote)problemen actief bij het proces betrokken. Door een betere, eenduidige procedure bij grote en/ of risicovolle projecten is er structureel betere informatieoverdracht tussen project en eindverantwoordelijk management (opdrachtgever/bestuur) mogelijk. Het bestuur/ opdrachtgever blijft actiever bij de aanwezige risico's betrokken, wordt niet door eventuele problemen verrast en de projectorganisatie blijft door de continue aandacht gedurende de doorlooptijd alerte op de noodzakelijke risicobeperkende maatregelen.
- **(V-2) Geo-start impuls:** *Verkeerde ontwerp- en uitvoeringsbeslissingen door niet inbrengen geotechnische risico's in plan- en beslisfase:* In de initiatief- en planfase van projecten wegen de geo-technische risico's onvoldoende mee in de planvorming, de afwegings- en beslisfase. Doordat deze geo-technische risico's vaak niet worden, of niet kunnen worden ingebracht in deze eerste, cruciale fasen van het proces ontstaan er in latere processtappen vaak problemen met substantiële financiële gevolgen. Als opdrachtgevers zich in de plan- en beslisfase beter dan nu bewust zijn van de in het project aanwezige geo-risico's en de daaraan verbonden consequenties zijn zij veel beter in staat de juiste beslissingen te nemen.
- **(II-12) Geotechniek in de planfase:** *Onjuiste plannen en extra benodigde investeringen door onvoldoende aandacht aan geotechnische randvoorwaarden:* Tijdens de planvorming wordt vaak onvoldoende tot géén aandacht besteed aan de geotechnische randvoorwaarden. Gevolg hiervan is dat in een later stadium de plannen moeten worden bijgesteld of dat extra investeringen benodigd zijn. Door eerder van geotechnische kennis gebruik te maken wordt snel duidelijk waar vanuit de ondergrond de kansen en bedreigingen liggen. Dit kan tot aanzienlijke kostenbesparingen leiden.
- **(7) Kloof uitvoering - adviseur:** Falen veroorzaakt door gebrekkige afstemming tussen ontwerper en uitvoerder
 - **(III-2) Kloof Uitvoerder – Adviseur:** *Onjuiste interpretatie ontwerp in uitvoeringsfase door weinig eenduidige communicatie tussen uitvoerder en adviseur:* In de uitvoering worden aspecten anders uitgevoerd dan vooraf door de adviseur bedacht, omdat deze niet uitvoerbaar zijn of onbegrepen blijven voor de uitvoering. In de praktijk bestaat het contact tussen adviseur en uitvoering veelal alleen uit geschreven tekst, die niet in alle gevallen eenduidig blijkt. Het project moet ertoe leiden dat deze problematiek sterk wordt verminderd of weggenomen.

- **(V-5) Geo-uitvoeringstoets:** *Verkeerde verwachtingen ontwerpers van uitvoering door ontbreken toetsing ontwerp op uitvoerbaarheid:* In de voorbereiding van de uitvoering worden het ontwerp en bestek door de uitvoerende partijen vertaald in concrete werkplannen. De verwachtingen vanuit het ontwerp moeten in het werkplan waargemaakt worden. Wijze van uitvoering kan van grote invloed zijn op de in het project aanwezige risico's. Om voldoende zekerheid te hebben dat de verwachtingen vanuit het ontwerp in de uitvoering waargemaakt kunnen worden is beter toetsing zinvol.
- **(8) Betrouwbaar ondergrond model:** Falen veroorzaakt door te optimistische interpretatie van steekproefsgewijze geo-informatie
 - **(IV-8) Betrouwbaar ondergrond model:** *Onverwachte geotechnische situaties door te optimistische interpretatie van steekproefsgewijze geo-informatie:* Geotechnische informatie is nu alleen bekend op basis van puntinformatie bronnen; boringen en sonderingen. De interpretatie van deze "steekproef" informatie leidt impliciet tot een vrij grote onzekerheid over de grondgesteldheid die kan of moet worden verwacht. Te optimistische interpretatie van deze data kan leiden tot onverwachte situaties en in het uiterste geval van falen bij of van het project.
- **(9) Lange termijn metingen en modelverbetering:** Falen veroorzaakt door structureel onjuiste modeluitkomsten
 - **(IV-2) Lange termijn metingen en modelverbeteringen:** *Verkeerde verwachtingen grondgedrag door met de praktijk afwijkende modeluitkomsten:* Gedrag van grond of een object in de grond wijkt in de praktijk af van de prognose. Wanneer dat leidt tot falen ergens tijdens de bouw of het gebruik van een constructie, pas dan worden mitigerende maatregelen getroffen of faalkosten worden genomen.
- **(10) Showcase observational methods:** Falen veroorzaakt door traditionele houding t.o.v. contracten
 - **(II-8) Showcase observational method:** *Inefficiënte implementatie risicomanagement door traditionele houding t.o.v. contracten:* Voor het beperken van faalkosten wordt de implementatie van risicomanagement in het bouwproces als een belangrijke voorwaarde gezien. Het toepassen van de Observational Method is daarvan een uitvloeisel, een methode die juist door het systematisch inbouwen van risicogestuurde scenario's en sturing door middel van monitoring complexe projecten robuust maar toch betaalbaar kan helpen realiseren. De toepassing van deze methode is vooral in Angelsaksische landen (o.a. VS en UK) en bijvoorbeeld in Japan veelvuldig toegepast, maar in Nederland nog niet zo gangbaar. De belangrijkste reden hiervoor zijn de traditionele houding tov contracten (de O.M. werkt alleen als er ruimte is voor alternatieven of in een DB contract) en onbekendheid met de voor- en nadelen ervan. Daarnaast zijn door het geringe aantal toepassingen nog geen standaard tools beschikbaar voor een soepele uitvoering van de O.M. Daarnaast wordt de O.M. vaak ten onrechte genoemd in gevallen dat een robuuste oplossing voor de opdrachtgever als "te duur" wordt geklassificeerd. Men gaat dan over tot de keuze voor een uitvoerings-methode die ook kan, maar waarvan niet geheel zeker is of dat voor de specifieke situatie ook tot een oplossing kan leiden; "er kleven nog de nodige risico's aan. In dat geval kiest men er soms voor deze goedkopere methode door monitoring te begeleiden. Met als randvoorwaarde de uitvoering te stoppen, als bepaalde grenswaarden t.a.v. toleranties aan de uitvoeringsmethode worden overschreden. Men verwijst daarbij dan ten onrechte naar de "Observational Method". De praktijk wijst echter uit, dat verwijzen naar niet voldoende is. Deze methode stelt namelijk belangrijke eisen aan het proces, en aan het vooraf ontwikkelen en paraat hebben van alternatieven.
- **(11) Internationale samenwerking:** Falen veroorzaakt door niet kunnen vinden van bestaande internationale kennis
 - **(II-16) Leren van het buitenland:** *Missen van bestaande kennis door ontbreken kennisdeling met het buitenland:* Kennis delen is een zeer krachtig en relatief goedkoop middel om geotechnische

risico's te reduceren. Ook in het buitenland wordt gestreefd naar het reduceren van geotechnische risico's en is het zeer de moeite waard om na te gaan hoe zij hiermee omgaan. Hierdoor hoeven we soms "het wiel niet opnieuw uit te vinden" of kunnen we de krachten bundelen als het gaat om het uitvoeren van onderzoek, van pilots, nieuwe contractvormen of brainstormen naar nieuwe oplossingsrichtingen.

- **(12) Onderwijs en opleiding:** Falen veroorzaakt door niet kunnen vinden van bestaande nationale kennis en normen
 - **(II-15) Een vernieuwd GEONET:** *Inefficiënte kennisdeling tussen professionals door ontbreken middelen en professionele aanpak:* Kennis delen is een zeer krachtig en relatief goedkoop middel om geotechnisch risico's te reduceren. GEONET is dé geotechnische internetsite bij uitstek voor afgestudeerden en professionals in geotechnisch Nederland, dat nu al zo'n 3.500 bezoekers per maand telt. GEONET biedt een schat aan geotechnische kennis en links naar andere relevante sites. Tot nu toe moet GEONET echter, ondanks de enthousiaste inzet van enkelen, met zeer beperkte middelen "in de lucht worden gehouden", terwijl er een veel hoger rendement zou kunnen worden behaald met een meer professionelere aanpak.
 - **(II-3) Promotie normen en richtlijnen:** *Onvoldoende geotechnische normhantering door onbekendheid met (het vinden van) de meest recente normen:* In de loop der tijd zijn de nodige normen, richtlijnen en handboeken opgesteld. Hiervan wordt onvoldoende gebruik gemaakt. Enerzijds door onbekendheid, anderzijds doordat er waarschijnlijk een drempel bestaat om deze documenten aan te schaffen. In 2015 is de geotechnisch ingenieur beter op de hoogte van de vigerende normen, richtlijnen en handboeken en kan sneller achterhalen welke informatie beschikbaar is. Met enkele muisklikken kunnen de gewenste documenten worden opgevraagd.
- **(Overig)** [Niet ingedeeld in huidige werkgroepen Geo-Impuls programma]
 - **(IV-3) Beheersen risico's m.b.t. bouwtrillingen:** *Moeilijk te voorspellen hoeveelheid en impact bouwtrillingen op projectomgeving:* Met enige regelmaat ontstaan er problemen gerelateerd aan door bouwwerkzaamheden veroorzaakte trillingen. Recent kwam de bouwput naast het stadion in Eindhoven in het nieuws. In dit was de impact van het heien onderschat, en was er een (groot) risico dat de bouwwerkzaamheden door de rechter zouden worden stopgezet, met alle schade door de vertragingen. In een ander geval kiest men wellicht ten onrechte voor trillingsarme bouwmethoden, of mogen damwanden preventief niet worden teruggewonnen. In alle gevallen betreft het hier een risico dat drukt op de bouwkosten. Dit project het beoogt het beter voorspelbaar maken van bouwtrillingen zodat effectiever met minder risico's kan worden gekozen voor een bouwmethode. Dit leidt tot een vermindering van bouw hinder en van schade door bouwtrillingen, en leidt tot een meer effectieve inzetbaarheid van goedkope trillende installatietechnieken.
 - **(II-1) Laboratoriumonderzoek in DINO:** *Weinig representatief grondonderzoek beschikbaar voor aanbestedingsfase:* Zeker voor aanbestedingen is vaak weinig grondonderzoek beschikbaar, zodat wordt teruggegrepen naar NEN 6740 tabel 1 voor de representatieve parameters. Hierdoor kan het ontwerp zowel te conservatief zijn (vaak), of juist te optimistisch (soms). Voor relatief kleine projecten is er vaak geen geld of tijd om laboratoriumonderzoek uit te voeren.
 - **(II-2) Toepassing 'Zettingen Isotachen model, Soft Soil Creep Restzettingeisen en Contracten':** *Onvoldoende strenge restzettingeisen:* We hebben in Nederland alle mogelijkheid om voor geavanceerde prognoses voor zettingen en zakkinggedrag uit te voeren. Uitstekende grondmechanische bedrijven, geotechnische opleidingen, veel ingenieursbureaus. Toch worden en meer dan gewenst snelle zettingsanalyses gemaakt met verouderde modellen. Een oorzaak ligt in het feit dat we geen goede normering hebben inzake restzettingeisen. Zo dateren bijvoorbeeld de restzettingeisen bij bouwrijpmaak projecten nog vaak uit iets wat in de jaren 70

is opgezet. Veel schade treedt op gedurende de gebruiksfase om dat weinig strenge eisen zijn gesteld en er al helemaal geen controle en monitoring is. Een kwaliteitsimpuls is eenvoudig te realiseren. Door Extra strenge restzettingeisen te gaan stellen. Vergelijk het met de politiek die extra strenge emissie eisen stelt en de auto industrie moet daar dan wel op inhaken.

- **(II-5) Toepassing grondverbeteringstechnieken:** *Onvoldoende verdichte / onbetrouwbare funderingsgronden:* Een groot deel van de faalkosten op het gebied van de geotechniek houdt direct verband met de slechte sterkte eigenschappen van een groot deel van de Nederlandse ondergrond. Traditioneel wordt de bestaande ondergrond als uitgangspunt genomen bij het ontwerp van funderingen, bouwputten en infrastructurele werken. Er is echter een breed scala aan bestaande grondverbeteringstechnieken beschikbaar waarmee de ondergrond vooraf kan worden bewerkt met als doel de eigenschappen van de ondergrond te verbeteren en het gedrag van de ondergrond beter voorspelbaar te maken. De toepassing van deze technieken wordt beperkt door de onbekendheid van veel partijen met deze technieken en de directe aanlegkosten. Dit projectvoorstel richt zich in eerste aanleg op het delen van de bestaande kennis op dit gebied met meerdere partijen in het bouwproces. Bij een toename van het gebruik van deze technieken is de verwachting gerechtvaardigd dat ook de directe kosten verbonden aan de uitvoering zullen dalen.
- **(II-9) Toepassing Innovatieve dijkversterkingstechnieken:** *Onvoldoende innovatie in dijkversterkingstechnieken:* In het kader van het RWS programma WINN zijn de afgelopen jaren een 4-tal innovatieve concepten voor dijkversterking ontwikkeld. Naast de Korte damwand oplossing van Deltares zijn in het kader van het programma Inside de technieken Mixed-in-Place, Dijkdeuvels en Dijkvernageling tot stand gebracht. Al deze technieken zijn goedgekeurd door het Expertise Netwerk Waterkeringen (ENW) en mogen daarmee worden toegepast in pilots (dijkversterkingen met een aanvullend monitoringsprogramma). De toepassing van deze technieken wordt beperkt door de onbekendheid van waterschappen met deze technieken. De waterschappen hebben met name vragen over de wijze waarop deze technieken in de toekomst dienen te worden getoetst, over de duurzaamheid van de technieken en ook, ondanks de ENW goedkeuring, over de werking van de technieken. Dit projectvoorstel richt zich op deze laatste vraag. Voor het aantonen van de werking van de technieken is behoefte aan grootschalige praktijkproeven, zoals deze in eerste instantie ook waren voorzien in het Inside programma.
- **(II-10) 'Meetgegevens breder beschikbaar maken':** *Onvoldoende beschikbare meetgegevens/ervaringen nieuwe technieken:* Bij het toepassen van relatief nieuwe technieken is het vaak moeilijk om aan referenties te komen, waardoor deze oplossing niet altijd geaccepteerd wordt.
- **(II-11) Toepassing injectietechnieken:** *Onbetrouwbare/complex grond door aanwezigheid lokale inhomogeniteiten:* Een groot deel van de faalkosten op het gebied van de geotechniek houdt direct verband met het (lokaal) bezwijken van onderdelen van constructies, waaronder wanden en vloeren van ondergrondse bouwdelen. Er zijn diverse injectietechnieken beschikbaar om lokale inhomogeniteiten te corrigeren of de gevolgen van deze inhomogeniteiten op de omgeving te compenseren. De toepassing van deze technieken wordt beperkt door de onbekendheid van veel partijen met deze technieken en de directe aanlegkosten. Dit projectvoorstel richt zich in eerste aanleg op het delen van de bestaande kennis op dit gebied met meerdere partijen in het bouwproces. Bij een toename van het gebruik van deze technieken is de verwachting gerechtvaardigd dat ook de directe kosten verbonden aan de uitvoering zullen dalen.
- **(II-13) Showcase probabilistisch plannen:** *Onjuiste ontwerpkeuzen door onbekendheid impact geotechnische risico's:* Reeds aan de voorkant van een project kan de (tijd/planning) impact van geotechnische risico's zichtbaar worden gemaakt zodat reeds in een vroege fase van het project de juiste ontwerpkeuzen gemaakt kunnen worden c.q. beheersmaatregelen worden genomen.

- **(IV-1) Robuust ontwerp van waterkeringen rond niet waterkerende objecten en overgangsconstructies:** *Bezwijken waterkeringen door Niet Waterkerende Objecten:* Waterkeringen bevatten grote aantallen Niet Waterkerende Objecten (NWO's): bebouwing, bomen, trappen, palen, leidingen en innovatieve keringen op Maaskades in Limburg. Daarnaast bevatten waterkeringen waterkerende kunstwerken, die via een horizontale of verticale overgangsconstructie overgaan op het normale dijklichaam uit grond. Het bezwijken van veel van de waterkeringen rond New Orleans tijdens de orkaan Katrina is ingeleid door erosie rond NWO's en kunstwerken. Lokaal hoge stroomsnelheden erodeerden de bekleding waardoor het dijklichaam verder kon worden aangetast. Recente proeven met de golfoverslagsimulator op Nederlandse zeedijken hebben laten zien dat ook hier lokaal geconcentreerde erosie rond NWO's kan leiden tot het verdwijnen van de bekleding. De huidige SBW richtlijnen voor toetsing houden geen rekening met het inleidende erosiemechanisme rond NWO's of overgangsconstructies. Hieraan wordt inmiddels gewerkt in het kader van het Wettelijk Toets Instrumentarium. Er is echter geen onderzoek voorzien naar robuust ontwerpen, dat wil zeggen dat de waterkering stand houdt als het inleidend mechanisme is opgetreden.
- **(IV-5) Bio-Bouwstoffen Levensduur:** *Bezwijken van dijken als gevolg van piping:* Het onderzoeksvoorstel "Bio-Bouwstoffen – levensduur" maakt onderdeel uit van het "Praktijk Innovatie Programma SmartSoils", een onderzoeksprogramma wat in 1999 gestart is door GeoDelft en nu binnen Deltares wordt voorgezet. Dit in dit programma worden duurzame, biologische en chemische processen ontwikkeld om de eigenschappen van de plaatselijk aanwezige grond als sterkte of doorlatendheid aan te passen naar de gestelde eisen. Hiermee vormt het programma een belangrijke oplossingsrichting voor de grote maatschappelijke vraagstukken (zeespiegelstijging, kwel in polders, oxidatie en inklinking van veengronden) waar we nu en in de komende jaren mee worden geconfronteerd. Inmiddels heeft het programma een drietal concepten opgeleverd die in de praktijk gedemonstreerd zijn: BioGrout, BioSealing en Versterkte Baggerspecie en is een onderzoeksprogramma in uitvoering voor de ontwikkeling van een 2e generatie BioGrout en een verkenning van het versterken van veen (BioVeen).
- **(IV-6) Voorspelling naverdichting door inbrengen en uittrekken van damwanden:** *Ontstaan van naverdichting door aanbrengen en uittrekken damwanden:* Het aanbrengen en uittrekken van damwanden kan in losgepakte niet-cohesief materiaal aanzienlijke schade door naverdichting veroorzaken. Met de gangbare ontwerpmethoden is het moeilijk te voorspellen of en hoeveel naverdichting optreedt. In het bijzonder speelt het probleem bij verbredingen van bestaande (spoor)wegen, waarbij vaak schade en vervorming aan de bestaande (spoor)weg optreedt. Dit leidt tot verkeershinder door versmalling van rijstroken, beperking van de rijnsnelheid en afsluiten van de (spoor)weg voor herstel. Eén manier om schade en vervorming te voorkómen is het aanbrengen van een tijdelijke damwand tussen aanaarding en bestaand weglichaam. Het inbrengen van de damwand zelf mag evenmin tot schade en verkeershinder leiden.
- **(IV-7) Betere modellering gronddeformaties in EEM - (spoor)wegverbredingen:** *Onheldere effectenanalyse en besluitvorming op basis van gronddeformaties:* Voor situaties waarin deformaties van grond en constructies in de grond (wegen, bouwputten, omgevingsmodellering) een dominant risico vormen, verhelderen berekeningen op basis van EEM effectenanalyse en besluitvorming. Gebleken is dat grondmodellering op basis van EEM in de praktijk grote spreiding in uitkomsten geeft. Dit project beoogt het eenduidig modelleren op basis van EEM, waarmee de nauwkeurigheid van de berekeningen vergroot. In dit kader wordt ingegaan op een situatie met aanaarding van bestaande weglichamen op slappe grond. Schade of grote afwijkingen in vervormingen ten opzichte van het ontwerp leidt tot verkeershinder door versmalling van rijstroken, beperking van de rijnsnelheid en afsluiten van de (spoor)weg voor herstel. Nauwkeurige voorspelling van schade en vervorming is gewenst om op verkeershinder te kunnen sturen. De

voorspelling met bestaande EEM vraagt om gevalideerde richtlijnen voor ontwerp die nu niet beschikbaar zijn.

- **(IV-9) Zettingsvloeiingen:** *Onnauwkeurige voorspelling zettingsvloeiingen:* De methoden voor de voorspelling van zettingsvloeiingen (verweking en bresvloeiing) worden verbeterd, zodat de faal- en onderhoudskosten door instabiliteiten (zandwinputten, ontgroningen nabij uitstromingsconstructies, Oosterscheldekering, nieuwe spui Afsluitdijk) belangrijk worden verkleind.
- **(IV-10a) Modellerings gedrag organische gronden – onverzadigd:** *Onvoldoende bekendheid met gedrag onverzadigde organische grond:* De risico's als gevolg van het onverzadigde gedrag van organische grond worden behoorlijk verkleind. Het gedrag van onverzadigde organische grond, ook onder de freatische lijn, is onvoldoende bekend (gassen, methaanproductie, temperatuursinvloeden). Gedacht kan worden aan de stabiliteit van taluds (veenboezemkaden Wilnis).
- **(IV-10b) Modellerings gedrag organische gronden:** *Ontbreken operationele kennis gedrag organische gronden:* De kosten van het bouwen op organische gronden kunnen behoorlijk worden verlaagd door het operationeel maken van de kennis van François Mathijssen en de resultaten uit het SBW-onderzoek voor de droge adviespraktijk. De kosten worden verlaagd omdat het mogelijk wordt scherper te ontwerpen, dus met minder grote marges, en sneller te bouwen, dus met minder hinder voor het verkeer (wegenaanleg).
- **(V-6) Geo Product Impuls:** *Grote mate van onzekerheid rekenmethodes paalfunderingen:* De maatschappij verwacht van de overheid dat er veilig gebouwd wordt. Opdrachtgevers verwachten van hun adviseurs en de uitvoerend partijen dat zij in staat zijn om voor hun projecten goede, veilige constructies en daarbij noodzakelijke funderingen te realiseren. Onderzoek geeft aan dat de in Nederland gehanteerde rekenmethodes, test- en toetsingsprocedures voor paalfunderingen een grote mate van onzekerheid bevatten. Een hoge mate van onzekerheid betekent dat er sprake kan zijn van zowel over- als onderdimensionering van paalfunderingen, oftewel dat er een onzeker verwachtingspatroon is. Overdimensionering betekent niet noodzakelijke kosten en onderdimensionering kan aanzienlijke risico's op falen, c.q. faalkosten met zich meebrengen. Omdat de funderingsmarkt zich ontwikkelt richting toepassing van steeds zwaardere paaltypes neemt het risico sterk toe. Door dieper, hoger en complexer bouwen, in combinatie met de toegenomen economische welvaart, zijn daarnaast de gevolgen van eventueel falen van funderingen sterk gestegen. Ook verwacht de maatschappij, overheid, opdrachtgevers dat de funderingstechniek zich ontwikkelt, dat er innovatieve producten worden toegepast.

Bijlage 13: Failure (Cause) Mandala categorisatie oorzaken geotechnisch falen

Responsibility	1st degree (= Verligoepen Geo-Impuls)	2nd degree	Code	Omschrijving van probleem/falen (= Projectvoorstellen Geo-Impuls)
Individual (= professional & geotechniek)	Ignorance	Insufficient knowledge	6	An individual or the people around him/her not knowing about established, known technical information.
			3.1.11.1.4	The walls were insufficiently protected against sliding
			16.1.11.1	The 12m penetration depth of the sheet pile is not adequate to support an excavation depth exceeding 3.5m with props at this site
			21.1.11.8	Regarding landfill construction it is necessary to ensure proper drainage
			26.1.14.6	Past NATM experience has not been adequately taken into account
			6.1.2.1.6	Complex hydrogeological settings, not sufficiently evaluated in the planning phases
			5.1.1.2.1.6	The presence of some 'fills' difficult to identify because they were also described as clay and gravel
		Disregard of tradition	0	An individual not knowing about an industry or enterprise's conventions.
	Carelessness		28	
		Insufficient understanding	28	Failure caused by an individual having only superficial understanding of the fundamental issues of a procedure.
			1.1.1.1.5	The absence of surface and sub-surface drainage contributed to the saturation and to the temporarily high pore water pressure
			5.1.1.1.8	The first phase was to act as a breakwater while the second phase was protected by the breakwater and hence was designed as a gravity structure
			5.1.1.2.8	The nature of the hydraulically placed fill was not adequately studied and it was placed very quickly to meet operational requirements
			5.1.1.4.8	Drain spillways were not provided
			5.1.1.5.8	In the initial phase, when the structure was built as a breakwater, there was no rear rubble mound, consequently the loading on the monolithic structure was
			10.1.1.1.8	The software did not directly address facing stability. The program was also developed specifically for one type of reinforcement, which was not specified nor
			12.1.1.1.7	The test data should be interpreted conservatively, rather than by simply taking an average, to determine a reasonable value of steady-state strength
			5.1.1.1.4	Inadequacy of geotechnical design for the approach embankments and abutments. The use of the RC piles and wood piles offered little lateral resistance and
			26.1.1.2.6	NATM design and construction were poorly understood
			27.1.1.1.6	In various approximate models, tunnel deformation is assumed to be radially uniform, but the actual deformation pattern was clearly different
			28.1.1.2.6	The design of the bolt of the temporary cofferdam differed from the original, because the staff of the consultants did not understand the situation of the field
			35.1.1.2.7	Dam builder didn't expect a slide, because he had been promised by geologists, sliding experts and others that there wouldn't be any slides
			4.1.1.1.1.4	Depending only on SPT tests
			46.1.1.1.4	Even when the excess pore water pressure has completely dissipated, the settlement continues (creep / secondary compression)
			47.1.1.1.4	The main factor, the 'leaning instability', apparently caused the rapid increase in the inclination of the tower towards the end of its construction
			50.1.1.1.5	A wrong use of numerical modeling in geotechnical design, together with some structural errors, were the main causes of the collapse
			50.1.1.2.5	A wrong estimate of the undrained earth pressure acting on the retaining structures
			57.1.1.1.8	Collapse, partly induced by the limited toe depth, which exceeded the often underestimated design conditions
			58.1.1.1.8	Collapse, partly induced by the limited toe depth, which exceeded the often underestimated design conditions
			59.1.1.1.8	Collapse, partly induced by the limited toe depth, which exceeded the often underestimated design conditions
			60.1.1.1.8	Collapse, partly induced by the limited toe depth, which exceeded the often underestimated design conditions
			61.1.1.1.8	Collapse, partly induced by the limited toe depth, which exceeded the often underestimated design conditions
			5.1.2.1.8	The tidal environment, as well as the variable pressure imposed on the structure by waves, was difficult to model
			5.1.2.1.8	The balance of effective and neutral stresses may cause ground liquefaction and siphoning
			33.1.2.1.2	Investigations revealed that high pressure water jet from leaked water pipe had completely mixed with surrounding soil forming water soil slurry (high eros)
			36.1.2.2.4	Intermittent mud flows had covered more underlying granular deposits, which had dried out
			49.1.2.1.8	It is concluded that the failure and the deep sinking of caissons should be explained by a strength-loss mechanism associated with the cyclic wave loading
			56.1.2.2.3	The settlement was probably augmented by continuing peat decomposition
		Insufficient precaution	18	Failure caused by an individual not paying sufficient attention because he/she is busy or cannot be bothered. Failure caused by an individual not taking adequate, known precautions.
			18.1.1.2.8	Poor workmanship
			20.1.1.2.8	Improper geogrid installations. The bends and slack within the geogrid are suspected to be the contributing factors for the SRW failure
			20.1.1.3.8	Inadequate compaction of soils within reinforced zone is also believed to have contributed to the failure of the SRW
			26.2.1.1.6	Extremely poor workmanship
			27.1.1.3.6	Failure of the first phase of excavation was due to an insufficient support system installed with considerable delays for economy reasons
			27.1.1.4.6	Bad craftsmanship as principal cause of failure
			42.1.1.2.1	There was little margin for error. Anchors should have been designed so that if one failed, the adjacent anchors could take the extra load
			42.1.1.3.1	No second line of defense. Design depended on near-perfect execution of the work and near-perfect performance of the system and its components
			43.1.1.1.4	When the total load reached about 85% of the design load, each slab failed suddenly, with the failure of one following the other in just a matter of seconds
			43.1.1.2.4	The slabs failed because they had almost no reinforcement, not because of excessive settlement
			50.1.1.3.5	An error in design of the bearing capacity of the walers, unable to take redistributed loads once one of them failed
			50.1.1.4.5	Insufficient toe penetration of the diaphragm wall into the impermeable strata
			54.1.1.2.7	Hydraulic fracturing or differential settlement in the key trench fill leading to cracking across the fill and resulting soil erosion
			54.1.1.3.7	The contact surfaces between the impervious core and the jointed rock hasn't been appropriately sealed and didn't have an appropriate filter layer
			55.1.1.2.1	Marginal bracing safety
			62.1.1.1.8	Local breaches of the thin parapet caused by heavy wave overtopping
			62.1.1.2.8	Damage to the pipelines running on the superstructure caused by heavy wave overtopping
			63.1.1.1.8	The tetrapod front protection, which was only provided at the end sections, was eroded
		Fatigue or Poor health	0	Fatigue or poor physical condition causing an individual to not pay sufficient attention.
	Ignorance of procedure		14	
		Insufficient communication	5	Failure caused by information being inadequate or not being communicated adequately to those that need it.
			13.1.1.1.7	It is clear that 1st failure of Embankment A could have been avoided if observational method was employed properly
			20.1.1.1.8	It is believed that inadequate internal drainage of backfill soils and the use of poor draining materials was a major reason for wall collapse
			26.1.1.1.6	Poor workmanship
			26.1.1.3.6	The numerical model used for design was not correctly calibrated against existing measurements
			38.1.1.1.4	The contracted driller admitted that he found water in a number of the borings, but as soon as he drilled through the clay layer, the water disappeared
		Disregard of procedure	9	Failure caused by established procedures or methods, whether formal or informal, being ignored.
			30.1.1.1.8	Investigation into the failure revealed that the actual tensile strength of geotextile reinforcement constructed on site was 50kN/m instead of 90kN/m
			30.1.1.2.8	Investigation into the failure revealed that the actual constructed reinforcement length was 1.6m instead of 2.3m
			40.1.1.1.5	The consultant discovered that many of the borings had actually not been made and logs were faked
			41.1.1.2.4	Soil classifications made only by the driller
			42.1.1.1.1	The contractor did not follow the specified installation and excavation procedure and instead excavated to the final depth without leaving a berm
			54.1.1.4.7	Principle of multiple lines of defence has been neglected
			55.1.1.1.1	Failure to archive building plans
			32.1.2.1.4	A possible quick and massive collapse of La Unión underground mining labours could have been responsible of the seismic activity that was registered by the
			41.1.2.1.4	While the STP test is valuable as an indicator, it can be misleading if used alone
	Misjudgment		21	
		Narrow outlook	9	Failure caused by an individual only considering a single aspect of a situation or ignoring possible and pertinent relationships between things and/or events.
			3.1.1.2.4	Effect of the presence of PVC sheeting between the foundation and the soil on the Safety Factor was not considered in the calculations
			4.1.1.2.8	Inadequate thickness of the support strip
			5.1.1.6.8	The caisson acted as a dam, hence the pressures were higher than anticipated at design stage
			10.1.1.2.8	The original design was based on the assumption that no hydrostatic forces would be acting on the SRW
			29.1.1.2.6	The CCP piles were intended to serve only for temporary purpose. Therefore, type I Portland cement was used instead. In combination with the high chloride
			31.1.1.1.4	This subsidence may have been caused as a result of having dividing walls that are shared with the buildings located at No. 22 of the same avenue
			54.1.1.5.7	Risk of lower quality materials being used for the dam, without the designer knowing about this, has not been recognized
			3.1.2.1.4	Joints at the floor slab of the tank have opened, creating uplift pressure and reducing the real Safety Factor
			56.1.2.1.3	The building was underlain by compressible, decomposing peat
		Misunderstanding	2	Failure caused by an individual understanding neither the situation nor its background principles and structures. For example, in the case of a leaking container of combustible gas, an individual may think that the way to turn off the valve is to turn it in a clockwise direction, as is normal. However, some valves turn off in the opposite direction, and turning such a valve clockwise would increase the leak.
			5.1.1.3.8	The fills were placed commencing at the landward side, such that a lake was created inside the new structure
			21.1.2.1.8	Shape and local geometry of the failure area showed clearly, that in many parts the waste had moved directly on the underlying subsoil
		Misperception	2	Failure caused by individuals believing they are acting in the correct manner, but in fact are not because of a misapprehension of their knowledge. For example, in the case of a leaking container of combustible gas, an individual may know that the correct way to turn off the valve is to turn it in an anti-clockwise direction (that is, not the "normal" direction), but through a lapse in thought turn the valve in the opposite direction, thus increasing the leak.
			10.1.1.3.8	The design did not meet the recommended factor of safety for connections of 1.5. In fact, the connection was substantially under-designed
			18.1.1.1.8	The original design was based on the assumption that no hydrostatic forces would be acting on the SRW
		Misjudgement of situation	8	Failure caused by an individual not understanding what is happening. For example, an individual may discover a fire and, believing it to be fuelled by wood, spray water on it. But if the fire is in fact caused by burning cooking oil, spraying water will cause the fire to spread.
			28.1.1.1.6	The construction director made an error of judgment about how dangerous it was
			39.1.1.1.4	An upper and a lower water level with a 20ft difference in head was discovered
			39.1.1.2.4	The bridge piers, designed for only 12 tons each and just long enough to extend through the compressible organic soil and only a few feet into the underlying
			48.1.1.2.4	Ground heave is a distinctive feature of the failure of the Transcona Grain Elevator and was already present at the early failures of the railroad embankments
			7.1.2.1.6	A body of grey fine sands and silts with high internal pressure was hit, which resulted in an abundant inflow of water and mud inside the pre-cast tunnel
			38.1.2.1.4	The clay formed a saucer-like layer, causing a perched water table
			46.1.2.2.4	Some of the sand layers proved to be lenses, entirely enclosed within the clay layer
			48.1.2.2.4	The elevator foundation however, developed a much deeper failure mechanism which entered the weaker clay layer, significantly reducing the bearing capacity

Responsibility	1st degree (= Weligroepen Geo-Impuls)	2nd degree	Code	Omschrijving van probleem/falen (= Projectvoorstellen Geo-Impuls)
	Insufficient analysis in research		38	Failure caused by lack of practice or because practice conditions do not match actual conditions. Hazardous Operability Training (HAZOP) and Fault Tree Analysis (FTA) are examples of virtual testing systems that are certified by industry.
		Insufficient practice	12	27.1.1.2.6 This effect is probably indicative of an inability of the primary support to withstand underestimated vertical pressures 27.1.1.6 Extreme convergence during the second phase of excavation due to an insufficient support system installed at high strains 29.1.1.6 Both chloride and sulfate contents in soils and the groundwater exceed the chloride content limit of curing water of regular ready mixed concrete and mortar 31.1.1.2.4 To accommodate the basement of this building, an excavation was carried out, digging 6m deep and constructing traditional concrete walls, thereby lowering it 34.1.1.1.3 The cause of over-pressurization was related to the temporary Contractor's gate, which apparently had been left lowered in a partly closed position at the time 45.1.1.1.4 Due to difficulties during pile driving, many piles ended up defective or too short, with significantly reduced bearing capacity 50.1.1.5 Lower than expected JGP strength 54.1.1.7 Flow of water through the grout curtain just below the grout cap 55.1.1.3 Excessive bracing deflection 27.1.2.6 The overall rockmass quality proves much lower than that indicated by in situ or laboratory geotechnical testing or conventional geological rock mass classification 29.1.2.6 The silt ingredient contained in the sand is non-plastic 29.1.2.6 The silt ingredient contained in the sand is highly erodible
		Insufficient prior research	5	Failure caused by insufficient research into component parts and chemicals of products, including controls over production methods regarding adherence to safety rules, functions, and characteristics. For example, there are many cases of the reactivity of chemicals not being adequately researched, leading to failure. 13.1.1.2.7 The design by the Specialist Contractor only used Priebe's methods (1995) to check on the stability and settlement of the subsoils treated with stone columns. 14.1.1.7 The design by the Specialist Contractor only used Priebe's methods (1995) to check on the stability and settlement of the subsoils treated with stone columns. 14.1.1.7 After the 1st failure, the contractor decided to use stone columns as remedial measures to strengthen the subsoil so that the embankment can be reconstructed 35.1.1.3 The groundwater level was known but not evaluated. Artesian water which would create uplift, better to say an in-depth pressure, which was a deciding factor 55.1.1.4 Lack of overall system stability
		Insufficient environment study	37	Research into the environment in which a substance or product is to be used or the economic environment is either inadequate or conditions change after the research is complete. 4.1.1.1.8 Much of the fill beneath the wharf was placed on mud which had not been fully appreciated at investigation/initial construction stage 8.1.1.1.6 Sandy-muddy materials not recognised during the design phases were encountered 9.1.1.1.6 The excavation intercepted a lens-shaped body of grey fine sand-and-silt aquitard 11.1.1.1.7 Since the total area of the exposures was less than 0.25% of the total borrow area it was considered that seepage losses would be minimal and therefore specified 15.1.1.2.4 Lack of understanding of the subsoil condition and awareness on the possible problems/failures that could happen during construction 16.1.1.2.1 Inadequacy of geotechnical design for various modes of failures 26.2.1.2.6 The site investigation was 'preliminary' and 'surprising if a tunnelling expert did not carry out a further investigation' 27.1.1.5.6 No detailed geodetic data were available or because only a relatively low level of deformation was observed, not permitting one to recognize and describe effects 35.1.1.1.7 The disaster was the result of human error, in this case definitely of scientific error, and a consequence of lack of knowledge 36.1.1.1.4 Little attempt was made to investigate the geologic history of the area 37.1.1.1.4 The suspected buried stream bed missed every boring location 41.1.1.3.4 No study of existing structures resting on the same formation 41.1.1.4 No attempt to understand the geology 41.1.1.5.4 No laboratory tests 48.1.1.1.4 The engineers assumed that the relatively stiff blue clay at the site had similar characteristics and a depth to that on which similar raft foundations of many types 1.1.2.1.5 Old landslide movements and faults in the area reduced the structural stability of the material 2.1.2.1.7 The stability of the clay foundation was controlled by only one material: the highly plastic and brittle Guadalquivir clay, which had a strong potential for progressive failure 2.2.2.1.7 The nonhomogeneous nature and very low permeability of the foundation clay and the natural state of the clay, which reduced the available strength along bedding planes 11.1.1.2.7 Groundwater was generally absent, prior to the Settling Pond construction due to underseepage through ligneous interface soils, which were observed above 12.1.2.1.7 Caused by the original static driving shear stresses in the embankment as a result of loss of strength in the liquefied soils 15.1.2.1.4 The soft alluvium generally has SPT N' value of zero and average moisture content of more than 70% which is near its Liquid Limit. The subsoil was therefore unstable 27.1.2.1.6 Clearly, the deformation was produced by the shear failure of weak rock masses subjected to high stresses 27.1.2.2.6 Rockmass is extremely variable with sections of good quality rock mass alternating with sections of very loose material 29.1.2.1.6 The silt ingredient contained in the sand is very sensitive to piping compared to other silts with the same gradation with more plasticity 31.1.2.1.4 All of the affected buildings were located on a paleochannel in which the lowering of the groundwater table must have been greater in comparison to the buildings 34.1.2.1.3 Reduction of ground support around the pipe due to a sinkhole that had formed above the adit, and adjacent the sewer 35.1.2.1.7 The loosened rock was not 10-20m but 350m thick 36.1.2.1.4 All the soils when wetted had large collapse potential 37.1.2.1.4 A dark streak running diagonally through the site was quite evident, revealing the likely existence of a buried stream bed 39.1.2.1.4 Below the top 10ft of fill was an organic silty clay to a depth of about 40ft 45.1.2.1.4 Non-homogeneous distribution of layer thickness and compressibility within the soft clay deposits underlying the Cathedral 45.1.2.2.4 The Cathedral and El Sagrario were built over the remains of an ancient Aztec temple 46.1.2.1.4 The Pleistocene clays were the source of these excessive settlements 46.1.2.1.4 Large spatial variability of soil properties and drainage geometry 47.1.2.1.4 Differential settlements due to variability of soil stiffness can only be partially responsible for the tilt 48.1.2.1.4 The elevator failure was most likely caused by the insufficient bearing capacity of its foundation 52.1.2.1.6 The face failures in the La Floresta tunnels ultimately explained by the low strength of highly decomposed and densely fissured paleozoic shales which behaved
Neither individual nor organization (= extern)	Poor response to change in environment	Change in environment	31	The environment at the time of initiation of a project changes by the time of completion of the project, but there is insufficient time to adapt the project appropriately. 10.1.5.1.8 Failures occurred during or shortly after significant rainfall events 18.1.5.1.8 The highest section of wall failed during a heavy rainstorm 19.1.5.1.8 Current tractive forces during floods, and gravitational and internal water forces during recession of flood waters, are predominant causes of bank recession 19.1.5.2.8 Land use may affect slope failures and bank erosion, if water infiltrating behind river banks causes persistent seepage and internal erosion 19.1.5.3.8 No significant correlation between traffic level and bank erosion was found, but prop turbulence and the direct impact of towboats operating approximate to the bank 21.1.5.1.8 The reinforcement was destroyed due to a smouldering landfill fire which burned over months 21.1.5.2.8 The landslide happened after 3 days of heavy rain 22.1.5.1.8 Immediately after the reconstruction and renovation works of the old town was completed in 1965, cracks were observed in nearby buildings due to the movement 23.1.5.1.8 On the day of the slide a major explosion occurred due to compressed gasses in the dumpsite. It is explained by Kocsoy and Curi (1995) that the explosion occurred 23.1.5.2.8 Heavy rains were likely the triggering mechanism 23.1.5.3.8 Excessive leachate level built up within the old decomposed waste caused by water infiltrating from the adjacent surface water ponds were likely the trigger 24.1.5.1.8 A major slope failure occurred in the northern face of the dump, following a period of heavy rain 25.1.5.1.8 Heavy rains caused by two typhoons that occurred in the area in the two weeks prior to the failure 25.1.5.2.8 Ponding of water on the top of the slope contributed to the failure 26.1.5.1.6 Bad health condition of the personnel 28.1.5.1.6 Because of the heavy rain 33.1.5.1.2 The root cause of the pipe failures is attributed to the initial leak of the asbestos water pipe 34.1.5.1.3 In the vicinity of the sinkhole, tree roots penetrated the sewer indicating that additional routes for exfiltration existed through the brickwork 45.1.5.1.4 The construction of the deep drainage pipe contributed to the differential settlements 45.1.5.2.4 Over-exploitation of deep aquifers and the rapid drop in the groundwater level 48.1.5.1.4 Large settlements of the embankments of the railroad yards, carrying the tracks 49.1.5.1.8 An east-northeast storm with maximum significant wave heights of 4m hit the coast 53.1.5.1.5 After 3 days of an intense rain reaching 107 mm, a sudden acceleration of the landslide occurred 56.1.5.1.3 (American) Litigation 57.1.5.1.8 The collapse was due to high wave impact loading 58.1.5.1.8 The collapse was due to high wave impact loading 59.1.5.1.8 The collapse was due to high wave impact loading 60.1.5.1.8 The collapse was due to high wave impact loading 61.1.5.1.8 The collapse was due to high wave impact loading 62.1.5.1.8 The collapse was due to high wave impact loading 63.1.5.1.8 The collapse was due to high wave impact loading
		Change in economic factors	0	The economic environment at the time of initiation of a project changes by the time of completion of the project, but there is insufficient time to adapt the project appropriately (for example, due to sudden fluctuations in interest rates or exchange rates).

Responsibility	1st degree (= Weligroepen Geo-Impuls)	2nd degree	Code	Omschrijving van probleem/falen (= Projectvoorstellen Geo-Impuls)
Organization (= organisatie & bouwsector)	Poor concept	Poor authority structure	9	Failure caused by not obtaining the necessary permission or rights (such as patents) to complete a project.
		Poor organization	10	Failure caused by flawed or inflexible organization structure.
				5.13.2.8 The caisson and fill works were undertaken by different companies and there were different site managers 26.2.1.6 Failing to ensure the safety of those not in their employ, be exposing them to danger, as technical supervisor of the works 37.1.3.2.4 The photograph was very small and the geotechnical engineer requested a much larger photo, which he received a few weeks later 38.1.3.1.4 Driller was only supposed to record the water level in the hole after the boring was completed 38.1.3.2.4 Nobody asked the driller to mention these particular findings 40.1.3.2.5 The highway department awarded the boring contract to the lowest bidder, a small contractor from another state 40.1.3.5 There was a complete absence of communication between the geotechnical engineer and the drilling contractor 43.1.3.2.4 The slabs and scaffolding were temporary structures, which was the contractor's responsibility, thus not inspected nor approved by the structural engineer w 43.1.3.4 No one had overall responsibility for all aspects of the work, including temporary structures 54.1.3.6.7 The designer of the dam hasn't communicated with the constructor of the dam for the entire construction period
		Poor strategy or concept	36	Failure caused by poor strategy or concept.
				4.1.3.1.8 Insufficient dredging of the soft material beneath the wharf area 4.1.3.2.8 Too rapid a placement of the fill 5.1.3.1.8 The phases and the transformation from breakwater to quay, filling, consolidation and paving where put out to tender separately, with a slight time lag 8.1.3.2.6 During the design phase, the hydrogeological setting was not correctly reconstructed because the real lithostratigraphic setting of the succession was oversim 9.1.3.2.6 During the design phase, the hydrogeological setting was not correctly reconstructed because the real lithostratigraphic setting of the succession was oversim 15.1.3.1.4 When constructing bridges on very soft ground, design consultant, consultant's site engineer(s) and contractor should have some fundamental geotechnical k 15.1.3.2.4 Failure could have been prevented if the designer and contractor had carried out simple bearing capacity checks. It is wrong to assume that as long as the stru 17.1.3.1.7 Dislocation of the weld joints was the main cause of the failure 17.1.3.2.7 Placing the walers inside the cofferdam compelled the use of steel strips to fill in the gaps between walers and sheet piles, which were not likely to be install 17.1.3.7 At the joints where the strut section was larger than the waler, the strut end was welded with a connecting plate that was, in turn, welded to the waler. This jo 25.1.3.6.8 The construction of drainage trenches at the top of the slope to drain ponding water contributed to the failure 25.1.3.7.8 Construction of a 2 to 3 m deep drainage ditch at the toe of the slope contributed to the failure 26.1.3.5.6 The safety plan was deficient 27.1.3.2.6 Occasional delays in ring closure as principal cause of failure 27.1.3.5.6 No detailed geodetic data were available or because only a relatively low level of deformation was observed, not permitting one to recognize and describe ef 29.1.3.1.6 This quality check process had shortcomings that only static flow of the leakage, i.e. Static permeability, was scrutinized; no further checks were practiced afte 29.1.3.2.6 The vibration caused by the wall breaking machinery might have triggered the failure 30.1.3.1.8 Investigation into the failure revealed that the actual tensile strength of geotextile reinforcement constructed on site was 50kN/m instead of 90kN/m 30.1.3.2.8 Investigation into the failure revealed that the actual constructed reinforcement length was 1.6m instead of 2.3m 32.1.3.4 In spite of the warning given by the Spanish General Board of Mining at the end of the 1970s, which advised not to construct on abandoned mining areas at t 37.1.3.1.4 Encountering completely different soil conditions than indicated by the borings 43.1.3.1.4 The slabs supporting the scaffolding, however, were simply placed on the ground without any soils investigation 48.1.3.1.4 The small size of the plates compared to that of the foundation did not allow for the deeper weak clay layer to be involved in the failure mechanism during th 50.1.3.3.5 Inefficiency of instrumentation and monitoring systems 50.1.3.4.5 Long times at which excavation was left unsupported 50.1.3.5.5 No strut failure check in the back analysis 51.1.3.1.6 The tunnel collapse was a consequence of an inappropriate construction method designed for rocks, even if they exhibit a low strength 51.1.3.2.6 It is also quite possible that the method used could have been successful, provided the bench excavation procedure was modified 52.1.3.1.6 Wrong tunnel construction method has been used, since construction method does not provide face support 54.1.3.1.7 Inconsistencies in the soil of the dam, due to wet seams 54.2.3.5.7 Failure to employ current technology 55.1.3.1.1 Failure to investigate city-hall load 18.1.4.1.8 The geosynthetic reinforcements used in Iran are predominantly flexible geogrid made of a variety of polymeric materials. Because of its complexity, the qual 27.1.4.1.6 In various approximate models, tunnel deformation is assumed to be uniform, but the actual deformation pattern was clearly different 55.1.4.1.7 The disaster was the result of human error, in this case definitely of scientific error, and a consequence of lack of knowledge 54.2.4.1.7 The concept of hydrolic fracturing in earth dams was not accepted (nor fully understood) by much of the profession at the time the dam was built
	Poor value perception		36	Failure caused by differences in culture and failure to adjust to or understand the surrounding culture. Technology from one culture may be misunderstood in another culture or have different standards or measurement units.
		Difference in culture	4	54.2.3.7.7 It was not bureau practice at that time for the dam designers to inspect the site during design or visit the site during construction to work out necessary adapt 10.1.4.1.8 Engineers familiar with the design and performance of SRW's have long suspected that the design loads used in the analysis of SRW's overestimate the actual 13.1.4.1.7 It is observed that there is a large range of possible ultimate bearing capacity when using different methods and this tends to cause confusion to design engi 27.1.4.2.6 The overall rockmass quality proves much lower than that indicated by in situ or laboratory geotechnical testing or conventional geological rock mass classifi
		Poor organizational culture	20	The rules of the corporation override the rules of society so that societal responsibility is neglected. Covering up a relatively minor failure to avoid negative consequences. Leading to more substantial failure. Recent examples include the failures that occurred at Snow Brand Milk LTD, Nippon Meat Packers, Inc. and Mitsubishi Motors.
				22.1.3.1.8 Compaction machines were in place, but appeared in a poor condition 22.1.3.1.8 No geosynthetic liner system was installed prior to waste placement and thus the waste is in contact with native materials and groundwater 23.1.3.1.8 Maximum MSW slope height was about 45m, with steep front slopes of up to 45 degrees or even more 23.1.3.2.8 The MSW was placed without any liner system 23.1.3.3.8 The waste is not compacted 23.1.3.4.8 The waste is not covered with soil 23.1.5.8 Before the slide, 3 to 5 m of demolition debris and soil was placed on top of the uncompacted waste starting in mid-1992 to provide cover for the waste and to 23.1.6.8 Fires were known to be burning on the surface of the waste at several places during most of the year before the slide 24.1.3.1.8 The landfill reaches a height of 60m above the surrounding level ground, with the slopes having slope angles of 45 degrees or more 24.1.3.2.8 The landfill does not have an engineered bottom liner 24.1.3.3.8 The landfill does not have a final cover 24.1.3.4.8 The landfill does not have leachate and gas control systems 24.1.3.5.8 As a result of the lack of vegetation, the landfill experienced small and large instability problems 24.1.3.6.8 As a result of the lack of drainage, the landfill experienced small and large instability problems 25.1.3.1.8 Following placement, waste is pushed over the brink of the slope so that it makes a steeper slope which creates more space for further waste on the top 25.1.3.2.8 The landfill did not have a liner system 25.1.3.5.8 Little or no compaction resulted in a low density waste 54.1.3.4.7 The design hasn't been reviewed by another (independent) design agency, because they fully trusted on the successfulness of this design agency 54.2.3.6.7 These deficiencies appear to have been an effort to save money in a project whose benefit-to-cost ratio was low 10.1.4.2.8 Had the original design addressed connections in accordance with industry practice (NEMA Design Manual) the wall would have performed as intended even w
		Poor safety awareness	32	Lax safety standards and awareness due to inadequate control by the body responsible for safety because of, for example, the safety supervisor's assumption that somebody else will take responsibility for safety or cost-cutting measures at the expense of safety. A notorious example of this is the battery factory disaster in Bhopal, India.
				8.1.3.1.6 The grey fine sands and silts are intercalated in the muddy sandy deposits, which were not detected in the design phases 9.1.3.1.6 The grey fine sands and silts are intercalated in the muddy sandy deposits, which were not detected in the design phases 11.1.3.1.7 Upper aquifer was located in fissured moderately plastic clays approximately 2m below the ground surface, which were not detected in the initial investigati 13.1.3.1.7 The trend of increase in pore water pressures have been observed for more than one month but no contingency action was taken by the Contractor and the Con 13.1.3.2.7 The vacuum suction at these depths were not functioning properly and was unable to prevent the increase of pore water pressures in the cohesive subsoil wit 15.1.3.3.4 Lack of construction control and site supervision by the Consultant 16.1.3.1.1 Lack of construction control and site supervision by Consultant such as over-excavation and uncontrolled surcharging at retained soil 18.1.3.1.8 The backfill soil did not comply with the FHWA recommendation, containing too much fines 18.1.3.2.8 Inappropriate as-built design 24.1.3.7.8 As a result of the lack of erosion controls, the landfill experienced small and large instability problems 25.1.3.3.8 The waste material contained high proportion of plastics and organics, and less of metal, papers, and glass due to recycling by scavengers 25.1.3.4.8 Landfill had large waste to soil ratio 25.1.3.8.8 The potential build-up of landfill gas contributed to the failure 26.1.3.1.6 Poor engineering control 26.1.3.2.6 Deficient monitoring 26.1.3.3.6 Repairs were permitted without recording and certifying the repair work that was completed 26.1.3.4.6 The management systems and the resources capable of collecting, inputting, processing and interpreting the large amounts of instrumentation data were Ins 26.2.3.4.6 Architect was 'the watchdog' that did not bark 28.1.3.2.6 There was a problem in the information system for risk aversion 38.1.3.3.4 Borings were made without an inspector or soil technician present. The redundancy of having continuous inspection would have made it most likely that the p 41.1.3.1.4 No inspection of borings 42.1.3.1.1 Lack of peer review of the design 44.1.3.1.6 The accident consequences would not have been so tragic if it had not been for the extension of the accident to the outside area of the construction site. Com 44.1.3.2.6 The project safety concerns restricted to the construction site and to workers, as well as to any other construction involved personnel 50.1.3.1.5 Warnings of the approaching collapse were present from an early stage but these were not taken seriously 54.1.3.2.7 The basic cause of the failure was clearly progressive erosion of the highly erodible Zone 1 fill material 54.1.3.3.7 Reservoir has been filled too quickly and there where no means for lowering the water level rapidly if problems would develop 54.1.3.5.7 No monitoring instrumentation has been used to check the performance of the earth dam 54.2.3.1.7 Fractured foundation 54.2.3.2.7 Easily erodible core 54.2.3.4.7 The failure investigations disclosed open foundation cracks at the grout curtain level, and no slush of the grouting in the upper upstream cutoff trench 44.1.4.1.6 If the depressions had been above the alert level, they should have cancelled the assigned explosion. Since the depressions were under acceptable levels, it

Responsibility	1st degree (= Werkgroepen Geo-Impuls)	2nd degree	Code	Omschrijving van problemen/falen (= Projectvoorstellen Geo-Impuls)
	Organizational problems		2	
		Inflexible management	0	In organizations with vertically structured management systems or unclear assignment of authority and responsibility to personnel, relatively minor decisions may need to be taken by high-level management and confrontation of problems is easily put off. In such cases, if a problem occurs, the organization and its staff cannot respond quickly enough or lack the authority to respond.
		Poor management	9	Failure caused by problems of management such as top-level management decisions not being communicated throughout the organization, management not being fully aware of the true situation at lower levels, and superiors not adequately supervising subordinates.
			18.1.3.3.8	Inadequate planning
			26.2.3.2.6	Major flaws in construction management
			26.2.3.3.6	Questionable contractual arrangements
			27.1.1.1.6	Failure of the first phase of excavation was due to an insufficient support system installed with considerable delays for economy reasons
			28.1.3.1.6	The design of the bolt of the temporary cofferdam differed from the original, because the builder (also owner) changed the design by itself
			40.1.3.1.5	Since the state highway department refused to pay, the consultant did no inspection of the drilling
			50.1.3.2.5	Wrong use of the geotechnical back analysis
			54.2.3.3.7	The planned limitation of the Teton filling rate was modified by an administrative decision to store the unusually great runoff that year
			46.1.4.1.4	All these factors are rather difficult to quantify accurately in advance of the construction
		Poor staff	0	Failure caused at "shop-floor" level, for example by subordinates failing to raise a problem with superiors, by individual selfishness affecting decision-making, or by lack of willingness to learn. Apart from failure explicitly caused by laziness or sabotage, blame for this kind of failure usually rests equally with the management and the managed.
Nobody (= extern)	Unknown cause		5	
		Abnormal phenomenon	5	Failure caused by conditions or events that cannot be foreseen using current knowledge or experience, as they have never happened before.
			1.1.5.1.5	Exceptionally heavy rainfall and snow over a period of one month. The annual rainfall was the highest over the last 50 years
			12.1.5.1.7	The liquefied zones after stress redistribution may be much larger than the initially liquefied zone caused directly by earthquake shaking (not direct cause)
			32.1.5.1.4	A possible seismic event was detected by distant seismic stations, causing cracks in the nearby industrial buildings
			34.1.5.2.3	Soon after the failure, a 6-foot high safe, a small safe and portions of a vase were found in the Overflow Structure, which probably ruptured the sewer
			53.1.5.2.5	Neotectonic movements resulted in the reactivation and subsequent behaviour of the landslide
		Unknown phenomenon	0	Failure caused by phenomena that can be understood using current knowledge, experience, theories, or thinking, but have never been reported or experienced in this context, for example.
		Totaal	288	

Bijlage 14: Geo-Impuls categorisatie oorzaken geotechnisch falen

Werkgroep	Karakterisering probleemstelling projectvoorstellen	Totaal/ Code	Omschrijving van probleem/falen voor werkgroep als geheel (= 1st degree volgens Failure Manifesto)
		9	Falen veroorzaakt door ontbreken van vooraf afgesproken verdeling geo-risico's
1	I-2		Verdeling risico's ontbreekt in contract door moeilijke vaststelling oorzaak geotechnisch falen 20.1.1.1.8 It is believed that inadequate internal drainage of backfill soils and the use of poor draining materials was a major reason for wall collapse 20.1.1.2.8 Improper geogrid installations. The bends and slack within the geogrid are suspected to be the contributing factors for the SRW failure 20.1.1.3.8 Inadequate compaction of soils within reinforced zone is also believed to have contributed to the failure of the SRW 41.1.1.2.4 Soil classifications made only by the driller 32.1.2.1.4 A possible quick and massive collapse of La Unión underground mining labours could have been responsible of the seismic activity that was registered by the seismographs 34.1.2.1.3 Reduction of ground support around the pipe due to a sinkhole that had formed above the adit, and adjacent the sewer 43.1.3.3.4 No one had overall responsibility for all aspects of the work, including temporary structures 26.2.3.2.6 Major flaws in construction management 26.2.3.3.6 Questionable contractual arrangements
		18	Falen veroorzaakt door verkeerde verwachtingen van geotechnisch en geotechnische kennis
2	V-1		Negatieve publiekheid door verkeerde verwachtingen geotechniek 10.1.1.1.8 The software did not directly address facing stability. The program was also developed specifically for one type of reinforcement, which was not specified nor utilized on this project 16.1.1.2.1 Inadequacy of geotechnical design for various modes of failures 28.1.1.1.6 The construction director made an error of judgment about how dangerous it was 35.1.1.1.7 The disaster was the result of human error, in this case definitely of scientific error, and a consequence of lack of knowledge 43.1.1.2.4 The slabs failed because they had almost no reinforcement, not because of excessive settlement 47.1.1.1.4 The main factor, the 'leaning instability', apparently caused the rapid increase in the inclination of the tower towards the end of its construction 55.1.1.4.1 Lack of overall system stability 41.1.2.1.4 While the STP test is valuable as an indicator, it can be misleading if used alone 54.2.3.5.7 Failure to employ current technology 35.1.4.1.7 The disaster was the result of human error, in this case definitely of scientific error, and a consequence of lack of knowledge 54.2.4.1.7 The concept of hydraulic fracturing in earth dams was not accepted (nor fully understood) by much of the profession at the time the dam was built
	III-3		Gebrekkige technische kennis door focus op vaardigheden in onderwijs 10.1.1.1.8 The software did not directly address facing stability. The program was also developed specifically for one type of reinforcement, which was not specified nor utilized on this project 28.1.1.1.6 The construction director made an error of judgment about how dangerous it was 35.1.1.1.7 The disaster was the result of human error, in this case definitely of scientific error, and a consequence of lack of knowledge 43.1.1.2.4 The slabs failed because they had almost no reinforcement, not because of excessive settlement 47.1.1.1.4 The main factor, the 'leaning instability', apparently caused the rapid increase in the inclination of the tower towards the end of its construction 55.1.1.4.1 Lack of overall system stability 41.1.2.1.4 While the STP test is valuable as an indicator, it can be misleading if used alone 54.2.3.5.7 Failure to employ current technology 35.1.4.1.7 The disaster was the result of human error, in this case definitely of scientific error, and a consequence of lack of knowledge 54.2.4.1.7 The concept of hydraulic fracturing in earth dams was not accepted (nor fully understood) by much of the profession at the time the dam was built
	(II-6)		Gebrekkige geotechnische kennis door onvoldoende aansluitende studieprogramma's 18.1.1.2.8 Poor workmanship 26.1.1.1.6 Poor workmanship 27.1.1.4.6 Bad craftsmanship as principal cause of failure 42.1.1.1.1 The contractor did not follow the specified installation and excavation procedure and instead excavated to the final depth without leaving a berm 26.2.1.1.6 Extremely poor workmanship 15.1.3.1.4 When constructing bridges on very soft ground, design consultant, consultant's site engineer(s) and contractor should have some fundamental geotechnical knowledge which include 15.1.3.2.4 Failure could have been prevented if the designer and contractor had carried out simple bearing capacity checks. It is wrong to assume that as long as the structural design of an abut
		16	Falen veroorzaakt door onvoldoende beschikbaar grondonderzoek in vroege projectfasen
3	III-3		Verkeerde ontwerpbeslissingen door onvoldoende beschikbaar grondonderzoek in vroege projectfasen 9.1.1.1.6 The excavation intercepted a lens-shaped body of grey fine sand-and-silt aquitard 27.1.1.5.6 No detailed geodetic data were available or because only a relatively low level of deformation was observed, not permitting one to recognize and describe effects such as the induce 28.1.1.2.6 The design of the bolt of the temporary cofferdam differed from the original, because the staff of the consultant did not understand the situation of the field sufficiently 48.1.1.2.4 Ground heave is a distinctive feature of the failure of the Transcona Grain Elevator and was already present at the early failures of the railroad embankments 50.1.1.2.5 A wrong estimate of the undrained earth pressure acting on the retaining structures 2.1.2.1.7 The stability of the clay foundation was controlled by only one material: the highly plastic and brittle Guadalquivir clay, which had a strong potential for progressive failure 6.1.2.1.6 Complex hydrogeological settings, not sufficiently evaluated in the planning phases 36.1.2.2.4 Intermittent mud flows had covered more underlying granular deposits, which had dried out 38.1.2.1.4 The clay formed a saucer-like layer, causing a perched water table 45.1.2.2.4 The Cathedral and El Sagrario were built over the remains of an ancient Aztec temple 48.1.2.1.4 The elevator failure was most likely caused by the insufficient bearing capacity of its foundation 56.1.2.1.3 The building was underlain by compressible, decomposing peat 56.1.2.2.3 The settlement was probably augmented by continuing peat decomposition 37.1.3.1.4 Encountering completely different soil conditions than indicated by the borings 37.1.3.2.4 The photograph was very small and the geotechnical engineer requested a much larger photo, which he received a few weeks later 55.1.3.1.1 Failure to investigate city-hall load
		2	Falen veroorzaakt door verkeerde kwaliteitsverwachtingen ondergrondse gevormde elementen
4	IV-4		Verkeerde verwachtingen in de grond gevormde elementen door lastige kwaliteitscontrole 50.1.1.5.5 Lower than expected JGP strength 54.1.1.1.7 Flow of water through the grout curtain just below the grout cap
	II-4		Verhoging en extra kosten door negatieve ervaringen diepwanden
		10	Falen veroorzaakt door onterkendende geotechnische kwaliteitszaken
5	I-3		Geen eenduidige beoordeling van mogelijke bledingen mogelijk door onzichtbare geotechnische risico's in ontwerpkeuzes 29.1.1.2.6 The CCP piles were intended to serve only for temporary purpose. Therefore, type I Portland cement was used instead. In combination with the high chloride and sulfate contents, this c 30.1.1.1.8 Investigation into the failure revealed that the actual tensile strength of geotextile reinforcement constructed on site was 50kN/m instead of 90kN/m 30.1.1.2.8 Investigation into the failure revealed that the actual constructed reinforcement length was 1.6m instead of 2.3m 31.3.1.7 The trend of increase in pore water pressures have been observed for more than one month but no contingency action was taken by the Contractor and the Consultant 30.1.3.1.8 Investigation into the failure revealed that the actual tensile strength of geotextile reinforcement constructed on site was 50kN/m instead of 90kN/m 30.1.3.2.8 Investigation into the failure revealed that the actual constructed reinforcement length was 1.6m instead of 2.3m 50.1.3.1.5 Warnings of the approaching collapse were present from an early stage but these were not taken seriously 54.2.3.2.7 Easily erodible core 54.2.3.3.7 The planned limitation of the Teton filling rate was modified by an administrative decision to store the unusually great runoff that year 18.1.4.1.8 The geosynthetic reinforcements used in Iran are predominantly flexible geogrid made of a variety of polymeric materials. Because of its complexity, the quality verifications of geogr
	I-13		Geotechnisch falen in ontwerp en uitvoering door ontbreken geotechnische kwaliteitszaken 29.1.1.2.6 The CCP piles were intended to serve only for temporary purpose. Therefore, type I Portland cement was used instead. In combination with the high chloride and sulfate contents, this c 30.1.1.1.8 Investigation into the failure revealed that the actual tensile strength of geotextile reinforcement constructed on site was 50kN/m instead of 90kN/m 30.1.1.2.8 Investigation into the failure revealed that the actual constructed reinforcement length was 1.6m instead of 2.3m 31.3.1.7 The trend of increase in pore water pressures have been observed for more than one month but no contingency action was taken by the Contractor and the Consultant 30.1.3.1.8 Investigation into the failure revealed that the actual tensile strength of geotextile reinforcement constructed on site was 50kN/m instead of 90kN/m 30.1.3.2.8 Investigation into the failure revealed that the actual constructed reinforcement length was 1.6m instead of 2.3m 50.1.3.1.5 Warnings of the approaching collapse were present from an early stage but these were not taken seriously 54.2.3.2.7 Easily erodible core 54.2.3.3.7 The planned limitation of the Teton filling rate was modified by an administrative decision to store the unusually great runoff that year 18.1.4.1.8 The geosynthetic reinforcements used in Iran are predominantly flexible geogrid made of a variety of polymeric materials. Because of its complexity, the quality verifications of geogr
	II-14		Onbekendheid met risico's uit de ondergrond door het niet om kunnen gaan met de natuurlijke onzekerheid 27.1.1.3.6 Failure of the first phase of excavation was due to an insufficient support system installed with considerable delays for economy reasons 3.1.2.1.4 Joints at the floor slab of the tank have opened, creating uplift pressure and reducing the real Safety Factor 5.1.2.2.8 The balance of effective and neutral stresses may cause ground liquefaction and siphoning 33.1.2.1.2 Investigations revealed that high pressure water jet from leaked water pipe had completely mixed with surrounding soil forming water soil slurry (high erosive properties) formed at 23.1.3.5.9 Before the slide, 3 to 5 m of demolition debris and soil was placed on top of the uncompacted waste starting in mid-1992 to provide cover for the waste and to increase income obtaine 23.1.3.6.9 Fires were known to be burning on the surface of the waste at several places during most of the year before the slide 24.1.3.5.8 As a result of the lack of vegetation, the landfill experienced small and large instability problems 24.1.3.6.8 As a result of the lack of drainage, the landfill experienced small and large instability problems 24.1.3.7.8 As a result of the lack of erosion controls, the landfill experienced small and large instability problems 25.1.3.5.8 The waste material contained high proportion of plastics and organics, and less of metal, papers, and glass due to recycling by scavengers 25.1.3.4.9 Landfill had large waste to soil ratio 25.1.3.5.8 Little or no compaction resulted in a low density waste 25.1.3.8.8 The potential build-up of landfill gas contributed to the failure 26.1.3.4.6 The management systems and the resources capable of collecting, inputting, processing and interpreting the large amounts of instrumentation data were insufficient 1.1.5.1.5 Exceptionally heavy rainfall and snow over a period of one month. The annual rainfall was the highest over the last 50 years 10.1.5.1.8 Failures occurred during or shortly after significant rainfall events 12.1.5.1.7 The liquefied zones after stress redistribution may be much larger than the initially liquefied zone caused directly by earthquake shaking (not direct cause) 18.1.5.1.8 The highest section of wall failed during a heavy rainstorm 19.1.5.1.8 Current tractive forces during floods, and gravitational and internal water forces during recession of flood waters, are predominant causes of bank recession 19.1.5.2.8 Land use may affect slope failures and bank erosion, if water infiltrating behind river banks causes persistent seepage and internal erosion 19.1.5.3.8 No significant correlation between traffic level and bank erosion was found, but prop turbulence and the direct impact of towboats operating approximate to river banks may have sig 21.1.5.1.8 The reinforcement was destroyed due to a smouldering landfill fire which burned over months 21.1.5.2.8 The landslide happened after 3 days of heavy rain 22.1.5.1.8 Immediately after the reconstruction and renovation works of the old town was completed in 1965, cracks were observed in nearby buildings due to the movements in the landfill 23.1.5.1.8 On the day of the slide a major explosion occurred due to compressed gasses in the dumpsite. It is explained by Kocsay and Curi (1995) that the explosion could not have been the m 23.1.5.2.8 Heavy rains were likely the triggering mechanism 23.1.5.3.8 Excessive leachate level built up within the old decomposed waste caused by water infiltrating from the adjacent surface water ponds were likely the triggering mechanism 24.1.5.1.8 A major slope failure occurred in the northern face of the dump, following a period of heavy rain 25.1.5.1.8 Heavy rains caused by two typhoons that occurred in the area in the two weeks prior to the failure 25.1.5.2.8 Ponding of water on the top of the slope contributed to the failure 26.1.5.1.6 Bad health condition of the personnel 28.1.5.1.6 Because of the heavy rain 32.1.5.1.4 A possible seismic event was detected by distant seismic stations, causing cracks in the nearby industrial buildings 33.1.5.1.2 The root cause of the pipe failure is attributed to the initial leak of the asbestos water pipe 34.1.5.1.3 In the vicinity of the sinkhole, tree roots penetrated the sewer indicating that additional routes for exfiltration existed through the brickwork 34.1.5.2.3 Soon after the failure, a 6-foot high safe, a small safe and portions of a vase were found in the Overflow Structure, which probably ruptured the sewer 45.1.5.1.4 The construction of the deep drainage pipe contributed to the differential settlements 45.1.5.2.4 Over-exploitation of deep aquifers and the rapid drop in the groundwater level 48.1.5.1.4 Large settlements of the embankments of the railroad yards, carrying the tracks 49.1.5.1.8 An east-northeast storm with maximum significant wave heights of 6m hit the coast 53.1.5.1.5 After 3 days of an intense rain reaching 107 mm, a sudden acceleration of the landslide occurred 53.1.5.2.5 Neotectonic movements resulted in the reactivation and subsequent behaviour of the landslide 56.1.5.1.3 (American) Ligation 57.1.5.1.8 The collapse was due to high wave impact loading 58.1.5.1.8 The collapse was due to high wave impact loading 59.1.5.1.8 The collapse was due to high wave impact loading 60.1.5.1.8 The collapse was due to high wave impact loading 61.1.5.1.8 The collapse was due to high wave impact loading

Werkgroep	Karakterisering probleemstelling projectvoorstellen	Totaal/ Code	Omschrijving van probleem/falen voor werkgroep als geheel
Nr.	Proj. Nr.	(= 1st degree volgens Failure Manuals)	(= 2nd degree volgens Failure Manuals)
		63.1.1.1.8	The collapse was due to high wave impact loading
		63.1.1.1.8	The collapse was due to high wave impact loading
III-4	Ontoereikende betrokkenheid geo-engineer door onwetendheid over geotechnische projectcomplexiteit	15.1.1.2.4	Lack of understanding of the subsoil condition and awareness on the possible problems/failures that could happen during construction
		54.1.1.3.7	The contact surfaces between the impervious core and the jointed rock hasn't been appropriately sealed and didn't have an appropriate filter layer
		11.1.1.2.7	Groundwater was generally absent, prior to the Settling Pond construction due to underseepage through ligneous interface soils, which were observed above the unconformity in most
		48.1.2.2.4	The elevator foundation however, developed a much deeper failure mechanism which entered the weaker clay layer, significantly reducing the bearing capacity
		52.1.2.1.6	The face failures in the La Floresta tunnels ultimately explained by the low strength of highly decomposed and densely fissured paleozoic shales which behaved as a soil with very low
		22.1.3.1.8	No geosynthetic liner system was installed prior to waste placement and thus the waste is in contact with native materials and groundwater
		23.1.3.2.8	The MSW was placed without any liner system
		23.1.3.4.8	The waste is not covered with soil
		24.1.3.2.8	The landfill does not have an engineered bottom liner
		24.1.3.3.8	The landfill does not have a final cover
		24.1.3.4.8	The landfill does not have leachate and gas control systems
		25.1.3.2.8	The landfill does not have a liner system
		38.1.3.2.4	Nobody asked the drillier to mention these particular findings
		46.1.4.1.4	All these factors are rather difficult to quantify accurately in advance of the construction
V-4	Verkeerde verwachtingen van geotechnici door variatie in positionering geo-engineer in proces	38.1.1.3.4	Driller was only supposed to record the water level in the hole after the boring was completed
		38.1.1.3.4	Borings were made without an inspector or soil technician present. The redundancy of having continuous inspection would have made it most likely that the perched water table would
V-3	Onvoldende overdracht kennis geotechnici tussen projectfasen door reactieve en weinig eenduidige procedures en management	3.1.1.1.4	The walls were insufficiently protected against sliding
		5.1.3.1.8	The phases and the transformation from breakwater to quay, filling, consolidation and paving where put out to tender separately, with a slight time lag
		15.1.3.3.4	Lack of construction control and site supervision by the Consultant
		16.1.1.1.1	Lack of construction control and site supervision by Consultant such as over-excavation and uncontrolled surcharging at retained soil
		26.1.3.1.6	Poor engineering control
		26.1.3.2.6	Deficient monitoring
		26.1.3.3.6	Repairs were permitted without recording and certificating the repair work that was completed
		40.1.3.3.5	There was a coincidental absence of communication between the geotechnical engineer and the drilling contractor
		41.1.1.1.4	No inspection of borings
		50.1.3.3.5	Inefficiency of instrumentation and monitoring systems
		50.1.3.5.5	No strut failure check in the back analysis
		54.1.3.5.7	No monitoring instrumentation has been used to check the performance of the earth dam
		54.2.3.4.7	The failure investigations disclosed open foundation cracks at the grout curtain level, and no slush of the grouting in the upper upstream cutoff trench
V-2	Verkeerde ontwerp- en uitvoeringsbeslissingen door niet inbrengen geotechnische risico's in plan- en beslisfase	5.1.1.3.8	The fills were placed commencing at the landward side, such that a lake was created inside the new structure
		5.1.1.4.8	Drain spillways were not provided
		34.1.1.1.3	The cause of over-pressurization was related to the temporary Contractor's gate, which apparently had been left lowered in a partly closed position at the time of the incident
		50.1.1.3.5	An error in design of the bearing capacity of the walers, unable to take redistributed loads once one of them failed
		50.1.1.4.5	Insufficient toe-penetration of the diaphragm wall into the impermeable strata
		54.1.1.4.7	Principle of multiple lines of defence has been neglected
		54.1.1.5.7	Risk of lower quality materials being used for the dam, without the designer knowing about this, has not been recognized
		55.1.1.2.1	Marginal bracing safety
		44.1.3.1.6	The accident consequences would not have been so tragic if it had not been for the extension of the accident to the outside area of the construction site. Companies may not extend to
		44.1.3.2.6	The project safety concerns restricted to the construction site and to workers, as well as to any other construction involved personnel
		50.1.3.4.5	Long times at which excavation was left unsupported
		54.2.3.6.7	These deficiencies appear to have been an effort to save money in a project whose benefit-to-cost ratio was low
II-12	Onjuiste plannen en extra benodigde investeringen door onvoldende aandacht aan geotechnische randvoorwaarden	10.1.1.3.8	The design did not meet the recommended factor of safety for connections of 1.5. In fact, the connection was substantially under-designed
		16.1.1.1.1	The 12m penetration depth of the sheet pile is not adequate to support an excavation depth exceeding 3.5m with props at this site
		27.1.1.2.6	This effect is probably indicative of an inability of the primary support to withstand underestimated vertical pressures
		29.1.1.1.6	Both chloride and sulfate contents in soils and the groundwater exceed the chloride content limit of curing water of regular ready mixed concrete and mortar
		34.1.1.2.4	To accommodate the basement of this building, an excavation was carried out, digging 6m deep and constructing traditional concrete walls, thereby lowering the groundwater table. P
		35.1.1.2.7	Dam builder didn't expect a slide, because he had been promised by geologists, sliding experts and others that there wouldn't be any slides
		57.1.1.1.8	Collapse, partly induced by the limited toe depth, which exceeded the often underestimated design conditions
		58.1.1.1.8	Collapse, partly induced by the limited toe depth, which exceeded the often underestimated design conditions
		59.1.1.1.8	Collapse, partly induced by the limited toe depth, which exceeded the often underestimated design conditions
		60.1.1.1.8	Collapse, partly induced by the limited toe depth, which exceeded the often underestimated design conditions
		61.1.1.1.8	Collapse, partly induced by the limited toe depth, which exceeded the often underestimated design conditions
		63.1.1.1.8	The tetrapod front protection, which was only provided at the end sections, was eroded
		18.1.3.3.8	Inadequate planning
		25.1.3.7.8	Construction of a 2 to 3 m deep drainage ditch at the toe of the slope contributed to the failure
		27.1.3.1.6	Failure of the first phase of excavation was due to an insufficient support system installed with considerable delays for economy reasons
		27.1.3.2.6	Occasional delays in ring closure as principal cause of failure
		29.1.3.2.6	The vibration caused by the wall breaking machinery might have triggered the failure
		40.1.3.1.5	Since the state highway department refused to pay, the consultant did no inspection of the drilling
		43.1.3.1.4	The slabs supporting the scaffolding, however, were simply placed on the ground without any soils investigation
7	III-2 Onjuiste interpretatie ontwerp in uitvoeringsfase door weinig eenduidige communicatie tussen uitvoerder en adviseur	14	Falen veroorzaakt door gebrekkige afstemming tussen ontwerp en uitvoerder
		13.1.3.2.7	The vacuum suction at these depths were not functioning properly and was unable to prevent the increase of pore water pressures in the cohesive subsoil with respect to the embank
		17.1.3.1.7	Dislocation of the weld joints was the main cause of the failure
		17.1.3.1.7	At the joints where the strut section was larger than the waler, the strut end was welded with a connecting plate that was, in turn, welded to the waler. This joint not only had the sho
		28.1.3.1.6	The design of the bolt of the temporary cofferdam differed from the original, because the builder (also owner) changed the design by itself
		43.1.3.2.4	The slabs and scaffolding were temporary structures, which was the contractor's responsibility, thus not inspected nor approved by the structural engineer who designed the bridge
		51.1.3.2.6	It is also quite possible that the method used could have been successful, provided the bench excavation procedure was modified
		54.1.3.6.7	The designer of the dam hasn't communicated with the constructor of the dam for the entire construction period
		54.2.3.7.7	It was not bureau practice at that time for the dam designers to inspect the site during construction to work out necessary adaptations of the design to u
		26.2.3.4.6	Architect was 'the watchdog' that did not bark
V-5	Verkeerde verwachtingen ontwerpers van uitvoering door ontbreken toetsing ontwerp op uitvoerbaarheid	11.1.1.1.7	Since the total area of the exposures was less than 0.25% of the total borrow area it was considered that seepage losses would be minimal and therefore special treatment was not r
		42.1.1.1.1	There was little margin for error. Anchors should have been designed so that if one failed, the adjacent anchors could take the extra load
		42.1.1.3.1	No second line of defense. Design depended on near-perfect execution of the work and near-perfect performance of the system and its components
		17.1.3.2.7	Placing the walers inside the cofferdam compelled the use of steel strips to fill in the gaps between walers and sheet piles, which were not likely to be installed in a straight line. The
		18.1.3.2.8	Inappropriate as-built design
8	IV-8 Onverwachte geotechnische situaties door te optimistische interpretatie van steekproefsgewijze geo-informatie	30	Falen veroorzaakt door te optimistische interpretatie van steekproefsgewijze geo-informatie
		5.1.1.2.8	The nature of the hydraulically placed fill was not adequately studied and it was placed very quickly to meet operational requirements
		35.1.1.3.7	The groundwater level was known but not evaluated. Artesian water which would create uplift, better to say an in-depth pressure, which was a deciding factor in the equilibrium, was
		36.1.1.1.4	Little attempt was made to investigate the geologic history of the area
		37.1.1.1.4	The suspected buried stream bed missed every boring location
		38.1.1.1.4	The contracted driller admitted that he found water in a number of the borings, but as soon as he drilled through the clay layer, the water disappeared
		39.1.1.1.4	An upper and a lower water level with a 20ft difference in head was discovered
		39.1.1.2.4	The bridge piers, designed for only 12 tons each and just long enough to extend through the compressible organic soil and only a few feet into the underlying sand
		41.1.1.1.4	Depending only on SPT tests
		41.1.1.3.4	No study of existing structures resting on the same formation
		41.1.1.4.4	No attempt to understand the geology
		41.1.1.5.4	No laboratory tests
		48.1.1.1.4	The engineers assumed that the relatively stiff blue clay at the site had similar characteristics and a depth to that on which similar raft foundations of many heavy structures had bee
		26.2.1.2.6	The site investigation was preliminary and surprising if a tunneling expert did not carry out a further investigation
		15.1.2.1.4	The soft alluvium generally has SPT N' value of zero and average moisture content of more than 70% which is near its Liquid Limit. The subsoil was therefore unable to support the we
		29.1.2.1.6	The silt ingredient contained in the sand is non-plastic
		29.1.2.2.6	The silt ingredient contained in the sand is highly erodible
		29.1.2.3.6	The silt ingredient contained in the sand is very sensitive to piping compared to other silts with the same gradation with more plasticity
		35.1.1.1.7	The loosened rock was not 10-20m but 350m thick
		37.1.2.1.4	A dark streak running diagonally through the site was quite evident, revealing the likely existence of a buried stream bed
		39.1.1.2.4	Below the top 10ft of fill was an organic silty clay to a depth of about 40ft
		46.1.2.2.4	Some of the sand layers proved to be lenses, entirely enclosed within the clay layer
		51.1.2.1.6	The presence of some 'fills' difficult to identify because they were also described as clay and gravel
		8.1.3.1.6	The grey fine sands and silts are intercalated in the muddy sandy deposits, which were not detected in the design phases
		8.1.3.2.6	During the design phase, the hydrogeological setting was not correctly reconstructed because the real lithostratigraphic setting of the succession was oversimplified and misinterpret
		9.1.3.1.6	The grey fine sands and silts are intercalated in the muddy sandy deposits, which were not detected in the design phases
		9.1.3.2.6	During the design phase, the hydrogeological setting was not correctly reconstructed because the real lithostratigraphic setting of the succession was oversimplified and misinterpret
		29.1.3.1.6	This quality check process had shortcomings that only static flow of the leakage, i.e. Static permeability, was scrutinized, no further checks were practiced after re-grouting for impedir
		32.1.3.1.4	In spite of the warning given by the Spanish General Board of Mining at the end of the 1970s, which advised not to construct on abandoned mining areas at the outskirts of La Unión,
		48.1.3.1.4	The small size of the plates compared to that of the foundation did not allow for the deeper weak clay layer to be involved in the failure mechanism during the tests
		54.2.3.1.7	Fractured foundation
9	IV-2 Verkeerde verwachtingen grondgedrag door met de praktijk afwijkende modeluitkomsten	9	Falen veroorzaakt door structureel onjuiste modeluitkomsten
		26.1.1.3.6	The numerical model used for design was not correctly calibrated against existing measurements
		27.1.1.1.6	In various approximate models, tunnel deformation is assumed to be radially uniform, but the actual deformation pattern was clearly different
		50.1.1.1.5	A wrong use of numerical modeling in geotechnical design, together with some structural errors, were the main causes of the collapse
		5.1.2.1.6	The tidal environment, as well as the variable pressure imposed on the structure by waves, was difficult to model
		27.1.2.3.6	The overall rockmass quality proves much lower than that indicated by in situ or laboratory geotechnical testing or conventional geological rock mass classification systems
		10.1.4.1.8	Engineers familiar with the design and performance of SRW's have long suspected that the design loads used in the analysis of SRW's overestimate the actual loads in the structure.
		13.1.4.1.7	It is observed that there is a large range of possible ultimate bearing capacity when using different methods and this tends to cause confusion to design engineers
		27.1.4.1.6	In various approximate models, tunnel deformation is assumed to be radially uniform, but the actual deformation pattern was clearly different
		27.1.4.2.6	The overall rockmass quality proves much lower than that indicated by in situ or laboratory geotechnical testing or conventional geological rock mass classification systems

Werkgroep Nr. Proj. Nr. (= 2nd degree volgens Failure Manual)	Karakterisering probleemstelling projectvoorstellen	Totaal/ Code (= 1st degree volgens Failure Manual)	Omschrijving van probleem/falen voor werkgroep als geheel
5	Falen veroorzaakt door onvolledige bedding 2d.v. constructie	5	Falen veroorzaakt door onvolledige bedding 2d.v. constructie
10	II-8 Inefficiënte implementatie risicomanagement door traditionele houding i.o.v. contracten	13.1.1.1.7 40.1.1.1.5 5.1.3.2.8 40.1.3.2.5 54.1.3.1.7	It is clear that 1st failure of Embankment A could have been avoided if observational method was employed properly The consultant discovered that many of the borings had actually not been made and logs were faked The caisson and fill works were undertaken by different companies and there were different site managers The highway department awarded the boring contract to the lowest bidder, a small contractor from another state Inconsistencies in the soil of the dam, due to wet seams
11	II-16 Missen van bestaande kennis door ontbreken kennisdeling met het publiek	2 21.1.1.1.8 26.1.1.4.6	Falen veroorzaakt door niet kunnen vinden van bestaande internationale kennis Regarding landfill construction it is necessary to ensure proper drainage Past NATM experience has not been adequately taken into account
12	II-15 Inefficiënte kennisdeling tussen professionals door ontbreken middelen en professionele aanpak	14 13.1.1.2.7 14.1.1.1.7 55.1.1.1.1 26.1.3.5.6 28.1.3.2.6 42.1.3.1.1 50.1.3.2.5 51.1.3.1.6 52.1.3.1.6 54.1.3.4.7 26.2.1.1.6 44.1.4.1.6	Falen veroorzaakt door niet kunnen vinden van bestaande nationale kennis en normen The design by the Specialist Contractor only used Friebe's methods (1995) to check on the stability and settlement of the subsoil treated with stone columns. There was no evidence The design by the Specialist Contractor only used Friebe's methods (1995) to check on the stability and settlement of the subsoil treated with stone columns. There was no evidence Failure to archive building plans The safety plan was deficient There was a problem in the information system for risk aversion Lack of peer review of the design Wrong use of the geotechnical back analysis The tunnel collapse was a consequence of an inappropriate construction method designed for rocks, even if they exhibit a low strength Wrong tunnel construction method has been used, since construction method does not provide face support The design hasn't been reviewed by another (independent) design agency, because they fully trusted on the successfulness of this design agency Failing to ensure the safety of those not in their employ, be exposing them to danger, as technical supervisor of the works If the depressions had been above the alert level, they should have cancelled the assigned explosion. Since the depressions were under acceptable levels, there was no reason to ch
13	IV-3 Onvoldende geotechnische normhantering door onbekendheid met (het vinden van) de meest recente normen	18.1.3.1.8 10.1.4.2.8	The backfill soil did not comply with the FHWA recommendation, containing too much fines Had the original design addressed connections in accordance with industry practice (NCMA Design Manual) the wall would have performed as intended even with the addition of hydro
			[Falen veroorzaakt door ...]

(Projectvoorstellen buiten Geo-Impuls programma)

Werkgroep Nr. Proj. Nr. (= 2nd degree volgens Failure Manual)	Karakterisering probleemstelling projectvoorstellen	Totaal/ Code (= 1st degree volgens Failure Manual)	Omschrijving van probleem/falen voor werkgroep als geheel
Overig	(Niet toegewezen aan een werkgroep)		
II-1	Weinig representatief grondonderzoek beschikbaar voor aanbestedingsfase	3 1.1.1.1.5 36.1.2.1.4 27.1.3.3.6	Falen veroorzaakt door gebruik van grondparameters i.o.v. grondonderzoek voor aanbesteding Old landslide movements and faults in the area reduced the structural stability of the material All the soils when wetted had large collapse potential No detailed geodetic data were available or because only a relatively low level of deformation was observed, not permitting one to recognize and describe effects such as the induce
II-2	Onvoldende strenge restzettingseisen	4 4.1.1.1.8 4.1.3.2.8 21.1.3.1.8 23.1.3.3.8	Falen veroorzaakt door restzettingen Much of the fill beneath the wall was placed on mud which had not been fully appreciated at investigation/initial construction stage Too rapid a placement of the fill Compaction machines were in place, but appeared in a poor condition The waste is not compacted
II-5	Onvoldende verdichte / anbetrouwbare funderingsgronden	5 2.2.2.1.7 12.1.2.1.7 45.1.2.1.4 46.1.2.3.4 47.1.2.1.4	Falen veroorzaakt door onbetrouwbare grondopbouw The homogeneous nature and very low permeability of the foundation clay and the natural state of the clay, which reduced the available strength along bedding planes Caused by the original static driving shear stresses in the embankment as a result of loss of strength in the liquefied soils Non-homogeneous distribution of layer thickness and compressibility within the soft clay deposits underlying the Cathedral Large spatial variability of soil properties and drainage geometry Differential settlements due to variability of soil stiffness can only be partially responsible for the tilt
II-9	Onvoldende innovatie in dijversterkingstechnieken	0	Falen veroorzaakt door onvoldende innovatie in dijversterking
II-10	Onvoldende beschikbare meetgegevens/ervaringen nieuwe technieken	1 26.1.1.2.6	Falen veroorzaakt door ontbreken van meetgegevens en ervaringen van nieuwe technieken NATM design and construction were poorly understood
II-11	Onbetrouwbare/complex grond door aanwezigheid lokale inhomogeniteiten	3 8.1.1.1.6 7.1.2.1.6 27.1.2.2.6	Falen veroorzaakt door lokale grond-inhomogeniteiten Sandy-muddy materials not recognised during the design phases were encountered A body of grey fine sands and silts with high internal pressure was hit, which resulted in an abundant inflow of water and mud inside the pre-casted tunnel Rockmass is extremely variable with sections of good quality rock mass alternating with sections of very loose material
II-13	Onjuiste ontwerpkosten door onbekendheid impact geotechnische risico's	17 1.1.1.1.5 3.1.1.2.4 4.1.1.2.8 5.1.1.1.8 5.1.1.5.8 5.1.1.6.8 10.1.1.2.8 18.1.1.1.8 31.1.1.1.4 43.1.1.1.4 21.1.2.1.8 23.1.3.1.8 24.1.3.1.8 25.1.3.1.8 25.1.3.6.8 54.1.3.2.7 54.1.3.3.7	Falen veroorzaakt door verkeerde ontwerpkosten gemaakt op basis van impact geotechnische risico's The absence of surface and sub-surface drainage contributed to the saturation and to the temporarily high pore water pressure Effect of the presence of PVC sheeting between the foundation and the soil on the Safety Factor was not considered in the calculations Inadequate thickness of the support strip The first phase was to act as a breakwater while the second phase was protected by the breakwater and hence was designed as a gravity structure In the initial phase, when the structure was built as a breakwater, there was no rear rubble mound, consequently the loading on the monolithic structure was greater than anticipated The caisson acted as a dam, hence the pressures were higher than anticipated at design stage The original design was based on the assumption that no hydrostatic forces would be acting on the SRW The original design was based on the assumption that no hydrostatic forces would be acting on the SRW This subsidence may have been caused as a result of having dividing walls that are shared with the buildings located at No. 22 of the same avenue When the total load reached about 85% of the design load, each slab failed suddenly, with the failure of one following the other in just a matter of seconds Shape and load geometry of the failure area showed clearly, that in many parts the waste had moved directly on the underlying subsoil Maximum MSW slope height was about 45m, with steep front slopes of up to 45 degrees or even more The landfill reaches a height of 60m above the surrounding level ground, with the slopes having slope angles of 45 degrees or more Following placement, waste is pushed over the brink of the slope so that it makes a steeper slope which creates more space for further waste on the top The construction of drainage trenches at the top of the slope to drain ponding water contributed to the failure The basic cause of the failure was clearly progressive erosion of the highly erodible Zone 1 fill material Reservoir has been filled to quickly and there where no means for lowering the water level rapidly if problems would develop
IV-1	Bezuiken waterkeringen door Niet Waterkerende Objecten	2 62.1.1.1.8 62.1.1.2.8	Falen veroorzaakt door erosie van Niet Waterkerende Objecten aan waterkering Local breaches of the thin parapet caused by heavy wave overtopping Damage to the pipelines running on the superstructure caused by heavy wave overtopping
IV-5	Bezuiken van dijken als gevolg van piping	1 54.1.1.2.7	Falen veroorzaakt door piping in dijken Hydraulic fracturing or differential settlement in the key trench fill leading to cracking across the fill and resulting soil erosion
IV-6	Ontstaan van naverdichting door aanbrengen en uittrekken damwanden	0	Falen veroorzaakt door naverdichting als gevolg van inklinken en uittrekken damwanden
IV-7	Onjuiste effectenanalyse en besluitvorming op basis van gronddeformaties	4 12.1.1.1.7 27.1.1.6.6 55.1.1.3.1 27.1.2.1.6	Falen veroorzaakt door onnauwkeurige berekeningen gronddeformatie The test data should be interpreted conservatively, rather than by simply taking an average, to determine a reasonable value of steady-state strength Extreme convergence during the second phase of excavation due to an insufficient support system installed at high strains Excessive bracing deflection Clearly, the deformation was produced by the shear failure of weak rock masses subjected to high stresses
IV-9	Onnauwkeurige voorspelling zettingsvloeiingen	3 46.1.1.1.4 46.1.2.1.4 49.1.2.1.8	Falen veroorzaakt door onjuiste voorspelling zettingsvloeiingen Even when the excess pore water pressure has completely dissipated, the settlement continues (creep / secondary compression) The Pleistocene clays were the source of these excessive settlements It is concluded that the failure and the deep sinking of caissons should be explained by a strength-loss mechanism associated with the cyclic wave loading
IV-10a	Onvoldende bekendheid met gedrag onverzandige organische grond	2 31.1.2.1.4 56.1.2.1.3	Falen veroorzaakt door onjuiste voorspelling gedrag onverzandige organische grond All of the affected buildings were located on a paleochannel in which the lowering of the groundwater table must have been greater in comparison to the buildings located outside c The building was underlain by compressible, decomposing peat
IV-10b	Ontbreken operationele kennis gedrag organische gronden	1 56.1.2.2.3	Falen veroorzaakt door ontbreken operationele kennis organische gronden The settlement was probably augmented by continuing peat decomposition
V-6	Grote mate van onzekerheid rekenmethode paalfunderingen	3 15.1.1.1.4 45.1.1.1.4 14.1.2.7	Falen veroorzaakt door rekenmethode paalfunderingen Inadequacy of geotechnical design for the approach embankments and abutments. The use of the RC piles and wood piles offered little lateral resistance and instead, extended the r Due to difficulties during pile driving, many piles ended up defective or too short, with significantly reduced bearing capacity After the 1st failure, the contractor decided to use stone columns as remedial measures to strengthen the subsoil so that the embankment can be reconstructed. However, the embank
		Totaal	288

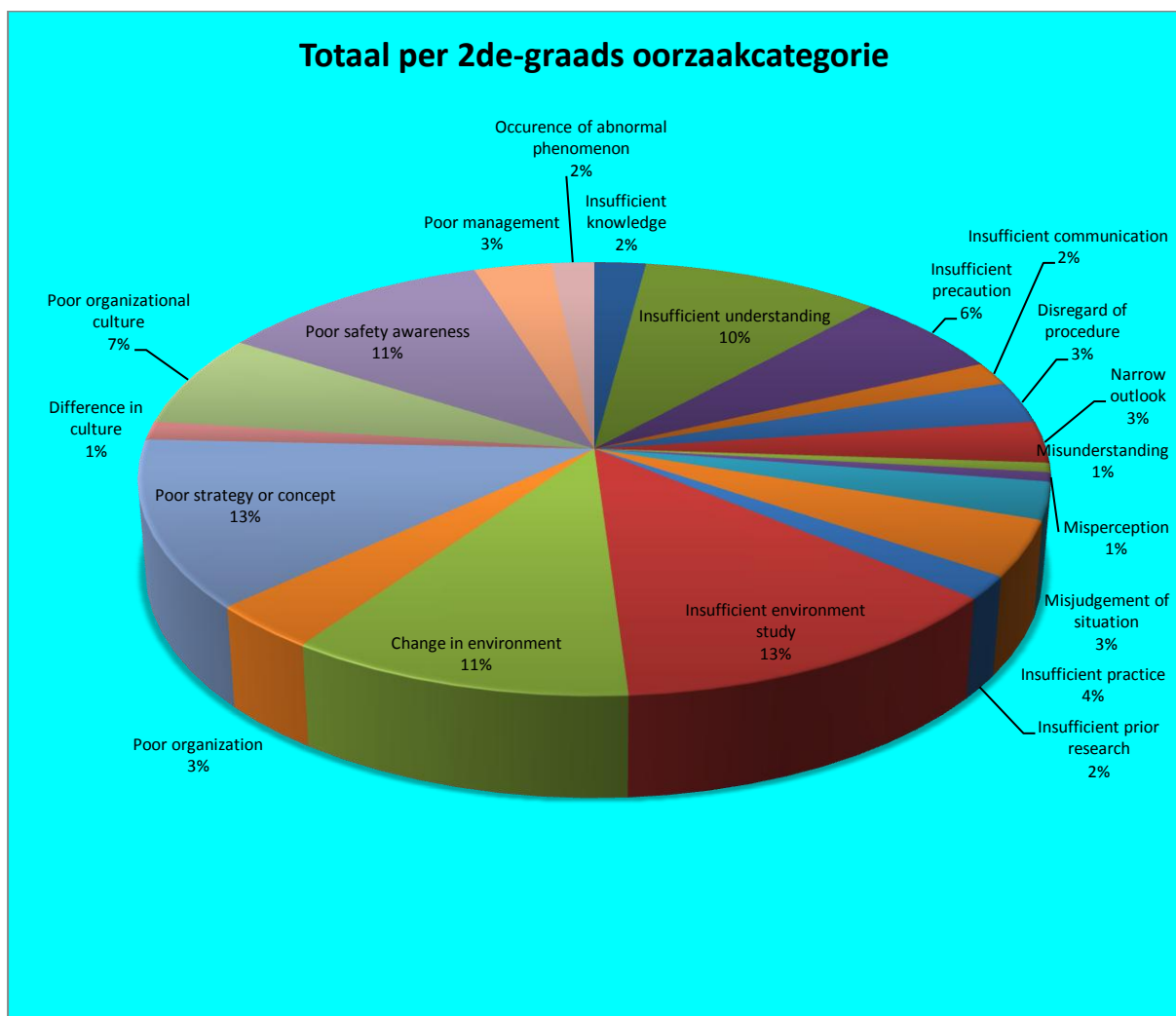
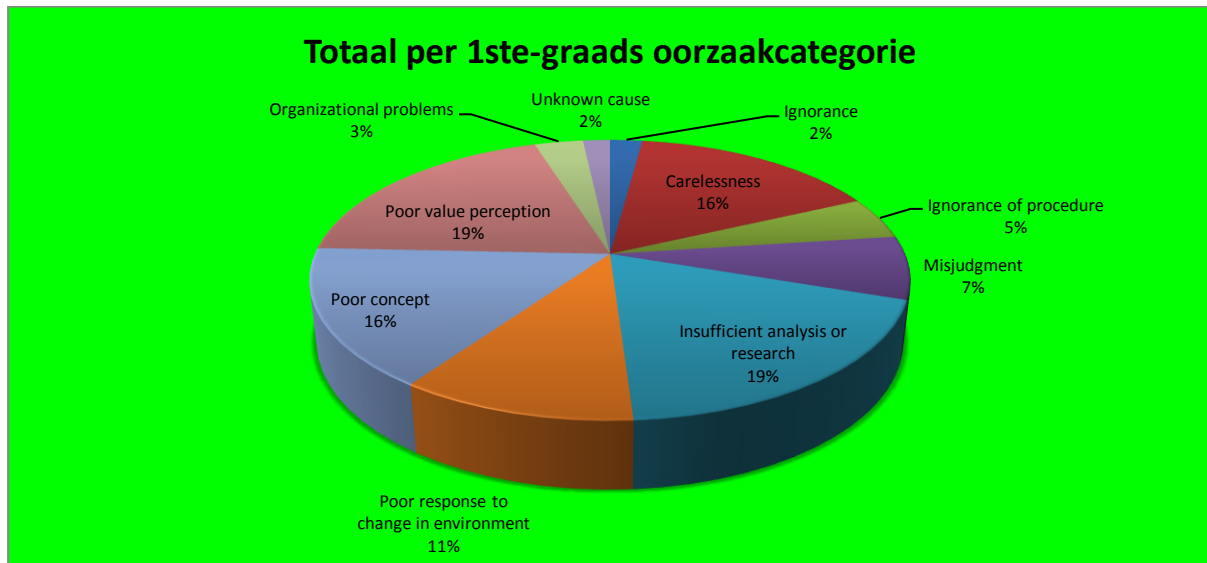
Bijlage 15: Kwantitatief overzicht Failure Mandala categorisatie

Failure Mandala indeling											
Nr.	Nr.	1ste graads oorzaken	Bouwput	Ondergrot	Riolering	Fundering	(Snel)weg	Tunnel	(Stuw)dal	Overige	Totaal per oorzaakcategorie
1.1		Ignorance	- 1	0	0	1	0	3	0	1	6
1.2		Carelessness	- 3	1	1	7	5	6	4	19	46
1.3		Ignorance of procedure	- 2	0	0	4	1	2	2	3	14
1.4		Misjudgment	- 0	0	1	9	0	3	1	7	21
1.5		Insufficient analysis or research	- 3	0	2	20	2	14	12	1	54
2.1		Poor response to change in environment	- 0	1	2	3	1	2	0	22	31
3.1		Poor concept	- 1	0	0	11	5	12	8	9	46
3.2		Poor value perception	- 2	0	0	3	1	12	13	25	56
3.3		Organizational problems	- 0	0	0	1	2	4	1	1	9
4.1		Unknown cause	- 0	0	1	1	2	0	1	0	5
		Totaal per projecttype	12	2	7	60	19	58	42	88	288
Nr.	Nr.	2de graads oorzaken	Bouwput	Ondergrot	Riolering	Fundering	(Snel)weg	Tunnel	(Stuw)dal	Overige	Totaal per oorzaakcategorie
1.1	1.1.1	Insufficient knowledge	- 1	0	0	1	0	3	0	1	6
1.1	1.1.2	Disregard of tradition	- 0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.2	1.2.1	Insufficient understanding	- 0	1	1	5	3	3	2	13	28
1.2	1.2.2	Insufficient precaution	- 3	0	0	2	2	3	2	6	18
1.2	1.2.3	Fatigue or Poor health	- 0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.3	1.3.1	Insufficient communication	- 0	0	0	1	0	2	1	1	5
1.3	1.3.2	Disregard of procedure	- 2	0	0	3	1	0	1	2	9
1.4	1.4.1	Narrow outlook	- 0	0	1	3	0	1	1	3	9
1.4	1.4.2	Misunderstanding	- 0	0	0	0	0	0	0	2	2
1.4	1.4.3	Misperception	- 0	0	0	0	0	0	0	2	2
1.4	1.4.4	Misjudgement of situation	- 0	0	0	6	0	2	0	0	8
1.5	1.5.1	Insufficient practice	- 1	0	1	2	1	6	1	0	12
1.5	1.5.2	Insufficient prior research	- 1	0	0	0	0	0	4	0	5
1.5	1.5.3	Insufficient environment study	- 1	0	1	18	1	8	7	1	37
2.1	2.1.1	Change in environment	- 0	1	2	3	1	2	0	22	31
2.1	2.1.2	Change in economic factors	- 0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.1	3.1.1	Poor authority structure	- 0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.1	3.1.2	Poor organization	- 0	0	0	5	2	1	1	1	10
3.1	3.1.3	Poor strategy or concept	- 1	0	0	6	3	11	7	8	36
3.2	3.2.1	Difference in culture	- 0	0	0	0	0	1	2	1	4
3.2	3.2.2	Poor organizational culture	- 0	0	0	0	0	0	2	18	20
3.2	3.2.3	Poor safety awareness	- 2	0	0	3	1	11	9	6	32
3.3	3.3.1	Inflexible management structure	- 0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.3	3.3.2	Poor management	- 0	0	0	1	2	4	1	1	9
3.3	3.3.3	Poor staff	- 0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.1	4.1.1	Occurence of abnormal phenomenon	- 0	0	1	1	2	0	1	0	5
4.1	4.1.2	Occurrence of unknown phenomenon	- 0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Totaal per projecttype	12	2	7	60	19	58	42	88	288

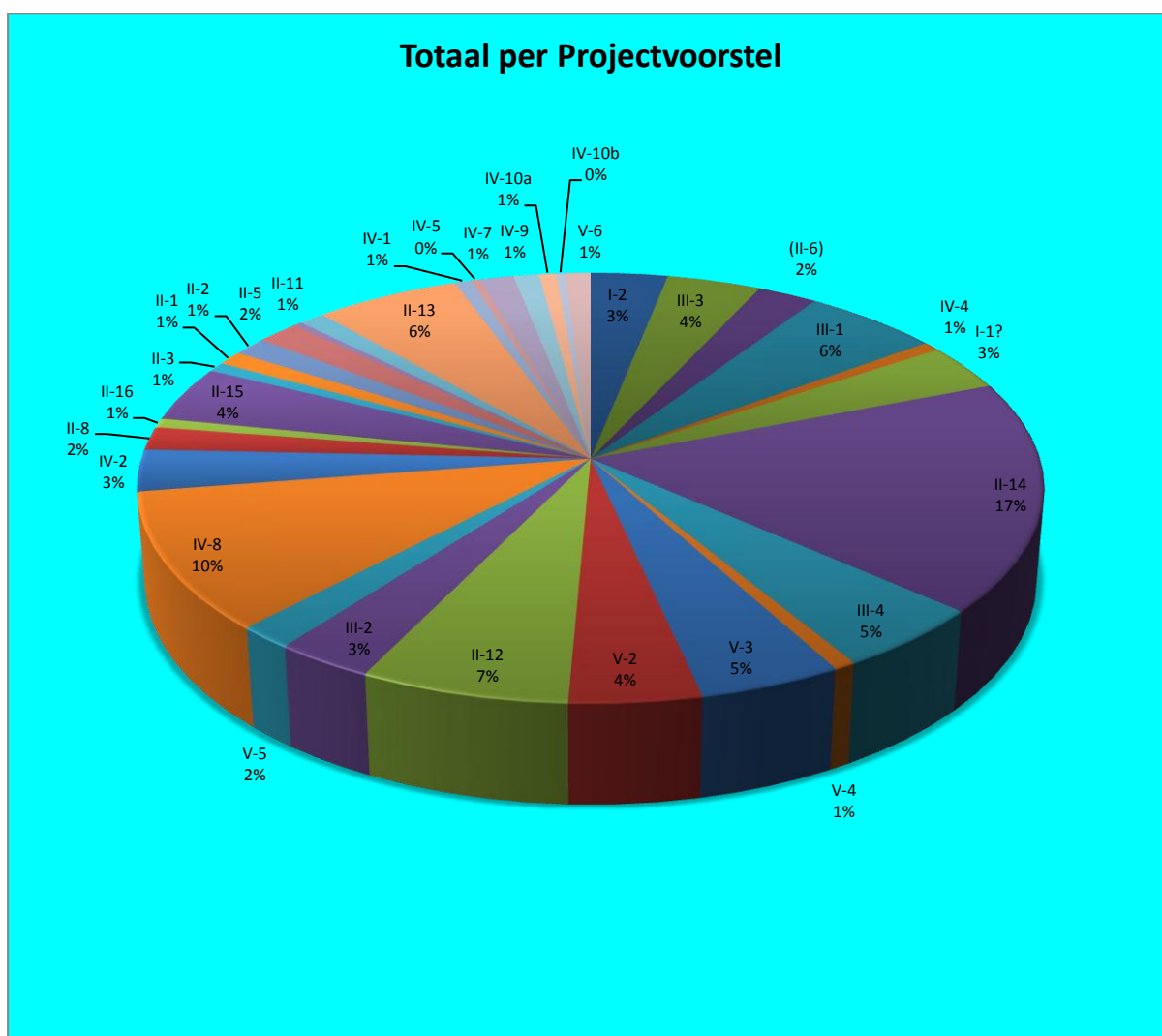
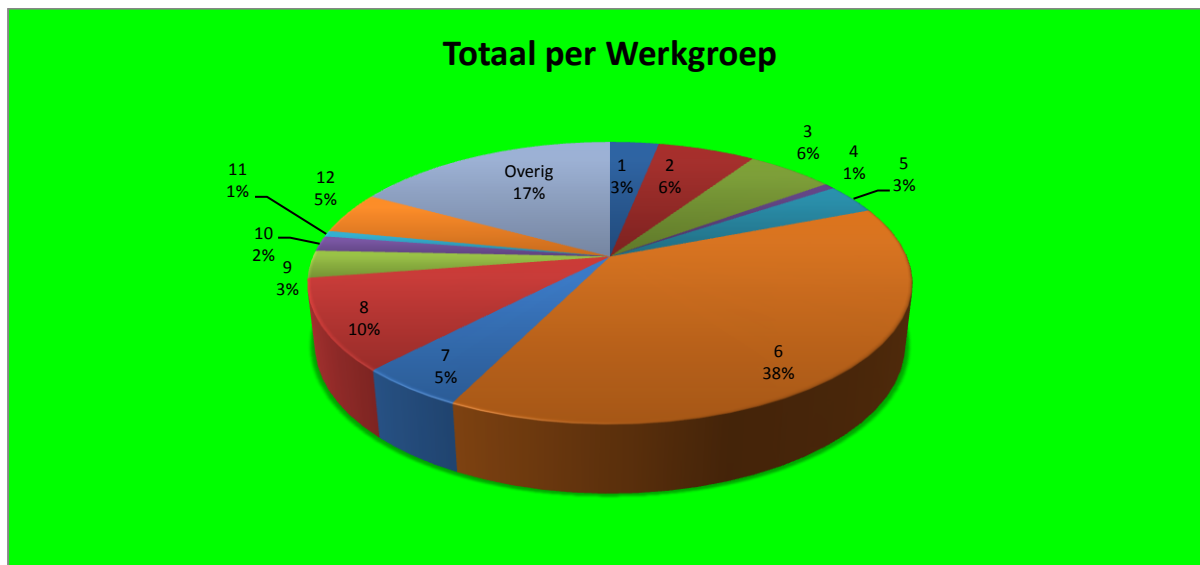
Bijlage 16: Kwantitatief overzicht Geo-Impuls categorisatie

Geo-Impuls indeling (2)												
Werkgroep	Projectvoorstel	1ste graads oorzaken (per werkgroep)	Bouwput	Ondergrond	Riolering	Fundering	(Snel)weg	Tunnel	(Stuw)dal	Overige	Totaal per oorzaakscategorie	
1		Falen veroorzaakt door ontbreken van vooraf afgesproken verdeling geo-risico's	-	0	0	1	3	0	2	0	9	
2		Falen veroorzaakt door verkeerde verwachtingen van geotechnici en geotechnische kennis	-	3	0	0	5	0	4	4	18	
3		Falen veroorzaakt door onvoldoende beschikbaar grondonderzoek in vroege projectfasen	-	1	0	2	7	1	4	1	16	
4		Falen veroorzaakt door verkeerde kwaliteitsverwachtingen ondergronds gevormde elementen	-	0	0	0	0	1	0	1	0	
5		Falen veroorzaakt door ontoereikende geotechnische kwaliteitseisen	-	0	0	0	0	1	1	3	5	
6		Falen veroorzaakt door onvoldoende kennis van bekende geo-risico's	-	3	2	4	16	10	15	9	51	
7		Falen veroorzaakt door gebrekkige afstemming tussen ontwerper en uitvoerder	-	2	0	0	1	0	3	7	14	
8		Falen veroorzaakt door te optimistische interpretatie van steekproefsgewijze geo-informatie	-	0	0	0	16	0	10	3	30	
9		Falen veroorzaakt door structureel onjuiste modeluitkomsten	-	0	0	0	0	1	5	1	12	
10		Falen veroorzaakt door traditionele houding t.o.v. contracten	-	0	0	0	0	2	0	2	1	
11		Falen veroorzaakt door niet kunnen vinden van bestaande internationale kennis	-	0	0	0	0	0	1	0	1	
12		Falen veroorzaakt door niet kunnen vinden van bestaande nationale kennis en normen	-	2	0	0	0	1	6	3	2	
Overig		(Falen veroorzaakt door oorzaken buiten Geo-Impuls Werkgroepen)	-	1	0	2	12	2	7	7	18	
Totaal per projecttype			-	12	2	9	60	19	58	41	87	288
Werkgroep	Projectvoorstel	2de graads oorzaken (per projectvoorstel)	Bouwput	Ondergrond	Riolering	Fundering	(Snel)weg	Tunnel	(Stuw)dal	Overige	Totaal per oorzaakscategorie	
1	I-2	Verdeling risico's onbekend in contract door moeilijke vaststelling oorzaak geotechnisch falen	-	0	0	1	3	0	2	0	9	
2	V-1	Negatieve publiciteit door verkeerde verwachtingen geotechniek	-	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	III-3	Gebrekkige technische kennis door focus op vaardigheden in onderwijs	-	2	0	0	3	0	1	4	11	
2	(II-6)	Gebrekkige geotechnische kennis door onvoldoende aansluitende studieprogramma's	-	1	0	0	2	0	3	0	7	
3	III-1	Verkeerde ontwerpbeslissingen door onvoldoende beschikbaar grondonderzoek in vroege projectfasen	-	1	0	2	7	1	4	1	16	
4	IV-4	Verkeerde verwachtingen in de grond gevormde elementen door lastige kwaliteitscontrole	-	0	0	0	0	1	0	1	2	
4	II-4	Vertrag en extra kosten door negatieve ervaringen diepvanden	-	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	I-3	Geen eenduidige beoordeling van mogelijke bidingen mogelijk door onzichtbare geotechnische risico's in ontwerpkeuzes	-	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	I-17	Geotechnisch falen in ontwerp en uitvoering door ontbreken geotechnische kwaliteitseisen	-	0	0	0	0	1	1	3	5	
6	II-14	Onbekendheid met risico's uit de ondergrond door het niet om kunnen gaan met de natuurlijke onzekerheid	-	0	2	3	5	3	4	1	32	
6	III-4	Ontoereikende betrokkenheid geo-engineer door onwetendheid over geotechnische projectcomplexiteit	-	0	0	0	4	0	1	2	14	
6	V-4	Verkeerde verwachtingen van geotechnici door variatie in positionering geo-engineer in proces	-	0	0	0	2	0	0	0	2	
6	V-3	Onvoldoende overdracht kennis georisico's tussen projectfasen door reactie en weinig eenduidige procedures en management	-	1	0	0	3	3	2	1	13	
6	V-2	Verkeerde ontwerp- en uitvoeringsbeslissingen door niet inbrengen geotechnische risico's in plan- en beslisfase	-	1	0	1	0	3	2	3	12	
6	II-12	Onjuiste plannen en extra benodigde investeringen door onvoldoende aandacht aan geotechnische randvoorwaarden	-	1	0	0	2	1	5	1	19	
7	III-2	Onjuiste interpretatie ontwerp in uitvoeringsfase door weinig eenduidige communicatie tussen uitvoerder en adviseur	-	0	0	0	1	0	3	5	9	
7	V-5	Verkeerde verwachtingen ontwerpers van uitvoering door ontbreken toetsing ontwerp op uitvoerbaarheid	-	2	0	0	0	0	2	1	5	
8	IV-8	Onverwachte geotechnische situaties door te optimistische interpretatie van steekproefsgewijze geo-informatie	-	0	0	0	16	0	10	3	30	
9	IV-2	Verkeerde verwachtingen grondgedrag door met de praktijk afwijkende modeluitkomsten	-	0	0	0	0	1	5	1	9	
10	II-8	Inefficiënte implementatie risicomanagement door traditionele houding t.o.v. contracten	-	0	0	0	0	2	0	2	5	
11	II-16	Missen van bestaande kennis door ontbreken kennisdeling met het buitenland	-	0	0	0	0	0	0	1	2	
12	II-15	Inefficiënte kennisdeling tussen professionals door ontbreken middelen en professionele aanpak	-	2	0	0	0	1	6	3	12	
12	II-3	Onvoldoende geotechnische normgeving door onbekendheid met (het vinden van) de meest recente normen	-	0	0	0	0	0	0	0	2	
Overig	II-1	Weinig representatief grondonderzoek beschikbaar voor aanbestedingsfase	-	0	0	0	1	1	1	0	3	
Overig	II-2	Onvoldoende strenge restzettingseisen	-	0	0	0	0	0	0	4	4	
Overig	II-5	Onvoldoende verdichtte / onbetrouwbare funderingsgronden	-	0	0	0	3	0	2	0	5	
Overig	II-9	Onvoldoende innovatie in dijversterkingstechnieken	-	0	0	0	0	0	0	0	0	
Overig	II-10	Onvoldoende beschikbare meetgegevens/ervaringen nieuwe technieken	-	0	0	0	0	0	1	0	1	
Overig	II-11	Onbetrouwbare/complex grond door aanwezigheid lokale inhomogeniteiten	-	0	0	0	0	0	3	0	3	
Overig	II-13	Onjuiste ontwerpkeuzes door onbekendheid impact geotechnische risico's	-	0	0	0	3	1	0	2	11	
Overig	IV-1	Bezuiken waterkeringen door Niet Waterkerende Objecten	-	0	0	0	0	0	0	0	2	
Overig	IV-5	Bezuiken van dijken als gevolg van piping	-	0	0	0	0	0	0	1	1	
Overig	IV-6	Ontstaan van naverdichting door aanbrengen en uittrekken damwanden	-	0	0	0	0	0	0	0	0	
Overig	IV-7	Onheldere effectenanalyse en besluitvorming op basis van grondformaties	-	1	0	0	0	0	2	1	4	
Overig	IV-9	Onnauwkeurige voorspelling zettingsvloeiingen	-	0	0	0	2	0	0	1	3	
Overig	IV-10a	Onvoldoende bekendheid met gedrag onverzadigde organische grond	-	0	0	1	1	0	0	0	2	
Overig	IV-10b	Ontbreken operationele kennis gedrag organische gronden	-	0	0	1	0	0	0	0	1	
Overig	V-6	Grote mate van onzekerheid rekenmethodes paalfunderingen	-	0	0	0	2	0	0	0	3	
Totaal per projecttype			-	12	2	9	60	19	58	41	87	288

Bijlage 17: Kwantitatieve visuele weergave Failure Mandala categorisatie



Bijlage 18: Kwantitatieve visuele weergave Geo-Impuls categorisatie



Bijlage 19: Crosscase analyse 1^{ste}-graads oorzaken JST / Geo-Impuls

Absolute relevanties

Failure Mandala \ Geo-Impuls	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Overig	Tot	MAX per 1ste-grads Failure Mandala	Grootste absolute relevante FM met GI	
Ignorance	0	0	1	0	0	2	0	1	0	0	2	0	0	6	2	Ignorance	1
Carelessness	2	6	4	0	0	15	2	2	3	0	0	0	12	46	15	Carelessness	6
Ignorance of procedure	3	3	0	0	2	1	0	1	2	0	1	0	1	14	3	Ignorance of procedure	1 & 2
Misjudgment	0	1	3	0	1	5	0	3	0	0	0	0	8	21	8	Misjudgment	Overig
Insufficient analysis or research	1	3	5	2	0	7	1	15	1	0	0	2	17	54	17	Insufficient analysis or research	Overig
Poor response to change in environment	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	31	31	Poor response to change in environment	6
Poor concept	1	5	4	0	3	11	6	5	1	3	0	4	3	46	11	Poor concept	6
Poor value perception	0	0	1	0	3	29	4	3	3	0	0	6	7	56	29	Poor value perception	6
Organizational problems	2	0	0	0	1	4	1	0	0	0	0	1	0	9	4	Organizational problems	6
Unknown cause	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	5	5	Unknown cause	6
Totaal	9	18	18	2	10	110	14	30	9	5	2	14	47	288			
MAX per Werkgroep Geo-Impuls	3	6	5	2	3	31	6	15	3	3	2	6	17				

Percentuele relevanties

Failure Mandala \ Geo-Impuls	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Overig	Tot	MAX per 1ste-grads Failure Mandala	Percentuele relevantie FM met GI (als % van GI)
Ignorance	0%	0%	6%	0%	0%	2%	0%	3%	0%	0%	100%	0%	0%	111%	1	Ignorance
Carelessness	22%	33%	22%	0%	0%	14%	14%	7%	33%	0%	0%	0%	26%	171%	0.33	Carelessness
Ignorance of procedure	33%	17%	0%	0%	20%	1%	0%	3%	11%	40%	0%	7%	0%	132%	0.4	Ignorance of procedure
Misjudgment	0%	6%	17%	0%	10%	5%	0%	10%	0%	0%	0%	0%	17%	64%	0.17	Misjudgment
Insufficient analysis or research	11%	17%	28%	100%	0%	6%	7%	50%	11%	0%	0%	14%	36%	281%	1	Insufficient analysis or research
Poor response to change in environment	0%	0%	0%	0%	0%	28%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	28%	0.28	Poor response to change in environment
Poor concept	11%	28%	22%	0%	30%	10%	43%	17%	11%	60%	0%	29%	6%	267%	0.6	Poor concept
Poor value perception	0%	0%	6%	0%	30%	26%	29%	10%	33%	0%	0%	43%	15%	192%	0.43	Poor value perception
Organizational problems	22%	0%	0%	0%	10%	4%	7%	0%	0%	0%	0%	7%	0%	50%	0.22	Organizational problems
Unknown cause	0%	0%	0%	0%	0%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	0.05	Unknown cause
Totaal	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	13		
MAX per Werkgroep Geo-Impuls	0.333	0.333	0.278	1	0.3	0.282	0.429	0.5	0.333	0.6	1	0.429	0.362			

Failure Mandala \ Geo-Impuls	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Overig	Tot	MAX per 1ste-grads Failure Mandala	Percentuele relevantie FM met GM (als % van FM)
Ignorance	0%	0%	17%	0%	0%	33%	0%	17%	0%	0%	33%	0%	0%	100%	0.33	Ignorance
Carelessness	4%	13%	9%	0%	0%	33%	4%	4%	7%	0%	0%	0%	26%	100%	0.33	Carelessness
Ignorance of procedure	21%	21%	0%	0%	14%	7%	0%	7%	7%	14%	0%	7%	0%	100%	0.21	Ignorance of procedure
Misjudgment	0%	5%	14%	0%	5%	24%	0%	14%	0%	0%	0%	0%	38%	100%	0.38	Misjudgment
Insufficient analysis or research	2%	6%	9%	4%	0%	13%	2%	28%	2%	0%	0%	4%	31%	100%	0.31	Insufficient analysis or research
Poor response to change in environment	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	1	Poor response to change in environment
Poor concept	2%	11%	9%	0%	7%	24%	13%	11%	2%	7%	0%	9%	7%	100%	0.24	Poor concept
Poor value perception	0%	0%	2%	0%	5%	52%	7%	5%	5%	0%	0%	11%	13%	100%	0.52	Poor value perception
Organizational problems	22%	0%	0%	0%	11%	44%	11%	0%	0%	0%	0%	11%	0%	100%	0.44	Organizational problems
Unknown cause	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	1	Unknown cause
Totaal	52%	56%	59%	4%	42%	430%	37%	86%	23%	21%	33%	41%	115%	10		
MAX per Werkgroep Geo-Impuls	0.222	0.214	0.167	0.037	0.143	1	0.13	0.278	0.071	0.143	0.333	0.111	0.381			

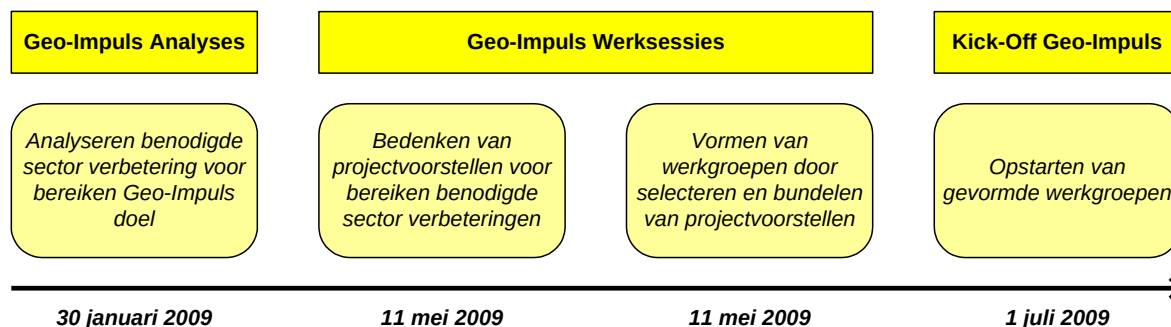
Gesommeerde percentuele relevantie

Failure Mandala \ Geo-Impuls	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Overig	Tot	MAX per 1ste-grads Failure Mandala	Percentuele relevantie FM met GI (%GI + %FM)	
Ignorance	0%	0%	22%	0%	0%	35%	0%	20%	0%	0%	133%	0%	0%	211%	133%	Ignorance	11
Carelessness	27%	46%	31%	0%	0%	46%	19%	11%	40%	0%	0%	0%	52%	271%	52%	Carelessness	Overig
Ignorance of procedure	55%	38%	0%	0%	34%	8%	0%	10%	18%	54%	0%	14%	0%	232%	55%	Ignorance of procedure	1
Misjudgment	0%	10%	31%	0%	15%	28%	0%	24%	0%	0%	0%	0%	55%	164%	55%	Misjudgment	Overig
Insufficient analysis or research	13%	22%	37%	104%	0%	19%	9%	78%	13%	0%	0%	18%	68%	381%	104%	Insufficient analysis or research	4
Poor response to change in environment	0%	0%	0%	0%	0%	128%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	128%	128%	Poor response to change in environment	6
Poor concept	13%	39%	31%	0%	37%	34%	56%	28%	13%	67%	0%	37%	13%	367%	67%	Poor concept	10
Poor value perception	0%	0%	7%	0%	35%	78%	36%	15%	39%	0%	54%	27%	292%	78%	Poor value perception	6	
Organizational problems	44%	0%	0%	0%	21%	48%	18%	0%	0%	0%	18%	0%	150%	48%	Organizational problems	6	
Unknown cause	0%	0%	0%	0%	0%	105%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	105%	105%	Unknown cause	6	
Totaal	152%	156%	159%	104%	142%	530%	137%	186%	123%	121%	133%	141%	215%	23			
MAX per Werkgroep Geo-Impuls	55%	46%	37%	104%	37%	128%	56%	78%	40%	67%	133%	54%	68%				

Bijlage 20: Crosscase analyse 2de-graads oorzaken JST / Geo-Impuls

	Failure Mindata Geo-Inputs																																Tot																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17	V18	V19	V20	V21	V22	V23	V24	V25	V26	V27	V28	V29	V30	V31	V32	V33	V34	V35	V36	V37	V38	V39	V40	V41	V42	V43	V44	V45	V46	V47	V48	V49	V50	V51	V52	V53	V54	V55	V56	V57	V58	V59	V60	V61	V62	V63	V64	V65	V66	V67	V68	V69	V70	V71	V72	V73	V74	V75	V76	V77	V78	V79	V80	V81	V82	V83	V84	V85	V86	V87	V88	V89	V90	V91	V92	V93	V94	V95	V96	V97	V98	V99	V100	V101	V102	V103	V104	V105	V106	V107	V108	V109	V110	V111	V112	V113	V114	V115	V116	V117	V118	V119	V120	V121	V122	V123	V124	V125	V126	V127	V128	V129	V130	V131	V132	V133	V134	V135	V136	V137	V138	V139	V140	V141	V142	V143	V144	V145	V146	V147	V148	V149	V150	V151	V152	V153	V154	V155	V156	V157	V158	V159	V160	V161	V162	V163	V164	V165	V166	V167	V168	V169	V170	V171	V172	V173	V174	V175	V176	V177	V178	V179	V180	V181	V182	V183	V184	V185	V186	V187	V188	V189	V190	V191	V192	V193	V194	V195	V196	V197	V198	V199	V200	V201	V202	V203	V204	V205	V206	V207	V208	V209	V210	V211	V212	V213	V214	V215	V216	V217	V218	V219	V220	V221	V222	V223	V224	V225	V226	V227	V228	V229	V230	V231	V232	V233	V234	V235	V236	V237	V238	V239	V240	V241	V242	V243	V244	V245	V246	V247	V248	V249	V250	V251	V252	V253	V254	V255	V256	V257	V258	V259	V260	V261	V262	V263	V264	V265	V266	V267	V268	V269	V270	V271	V272	V273	V274	V275	V276	V277	V278	V279	V280	V281	V282	V283	V284	V285	V286	V287	V288	V289	V290	V291	V292	V293	V294	V295	V296	V297	V298	V299	V300	V301	V302	V303	V304	V305	V306	V307	V308	V309	V310	V311	V312	V313	V314	V315	V316	V317	V318	V319	V320	V321	V322	V323	V324	V325	V326	V327	V328	V329	V330	V331	V332	V333	V334	V335	V336	V337	V338	V339	V340	V341	V342	V343	V344	V345	V346	V347	V348	V349	V350	V351	V352	V353	V354	V355	V356	V357	V358	V359	V360	V361	V362	V363	V364	V365	V366	V367	V368	V369	V370	V371	V372	V373	V374	V375	V376	V377	V378	V379	V380	V381	V382	V383	V384	V385	V386	V387	V388	V389	V390	V391	V392	V393	V394	V395	V396	V397	V398	V399	V400	V401	V402	V403	V404	V405	V406	V407	V408	V409	V410	V411	V412	V413	V414	V415	V416	V417	V418	V419	V420	V421	V422	V423	V424	V425	V426	V427	V428	V429	V430	V431	V432	V433	V434	V435	V436	V437	V438	V439	V440	V441	V442	V443	V444	V445	V446	V447	V448	V449	V450	V451	V452	V453	V454	V455	V456	V457	V458	V459	V460	V461	V462	V463	V464	V465	V466	V467	V468	V469	V470	V471	V472	V473	V474	V475	V476	V477	V478	V479	V480	V481	V482	V483	V484	V485	V486	V487	V488	V489	V490	V491	V492	V493	V494	V495	V496	V497	V498	V499	V500	V501	V502	V503	V504	V505	V506	V507	V508	V509	V510	V511	V512	V513	V514	V515	V516	V517	V518	V519	V520	V521	V522	V523	V524	V525	V526	V527	V528	V529	V530	V531	V532	V533	V534	V535	V536	V537	V538	V539	V540	V541	V542	V543	V544	V545	V546	V547	V548	V549	V550	V551	V552	V553	V554	V555	V556	V557	V558	V559	V560	V561	V562	V563	V564	V565	V566	V567	V568	V569	V570	V571	V572	V573	V574	V575	V576	V577	V578	V579	V580	V581	V582	V583	V584	V585	V586	V587	V588	V589	V590	V591	V592	V593	V594	V595	V596	V597	V598	V599	V600	V601	V602	V603	V604	V605	V606	V607	V608	V609	V610	V611	V612	V613	V614	V615	V616	V617	V618	V619	V620	V621	V622	V623	V624	V625	V626	V627	V628	V629	V630	V631	V632	V633	V634	V635	V636	V637	V638	V639	V640	V641	V642	V643	V644	V645	V646	V647	V648	V649	V650	V651	V652	V653	V654	V655	V656	V657	V658	V659	V660	V661	V662	V663	V664	V665	V666	V667	V668	V669	V670	V671	V672	V673	V674	V675	V676	V677	V678	V679	V680	V681	V682	V683	V684	V685	V686	V687	V688	V689	V690	V691	V692	V693	V694	V695	V696	V697	V698	V699	V700	V701	V702	V703	V704	V705	V706	V707	V708	V709	V710	V711	V712	V713	V714	V715	V716	V717	V718	V719	V720	V721	V722	V723	V724	V725	V726	V727	V728	V729	V730	V731	V732	V733	V734	V735	V736	V737	V738	V739	V740	V741	V742	V743	V744	V745	V746	V747	V748	V749	V750	V751	V752	V753	V754	V755	V756	V757	V758	V759	V760	V761	V762	V763	V764	V765	V766	V767	V768	V769	V770	V771	V772	V773	V774	V775	V776	V777	V778	V779	V780	V781	V782	V783	V784	V785	V786	V787	V788	V789	V790	V791	V792	V793	V794	V795	V796	V797	V798	V799	V800	V801	V802	V803	V804	V805	V806	V807	V808	V809	V810	V811	V812	V813	V814	V815	V816	V817	V818	V819	V820	V821	V822	V823	V824	V825	V826	V827	V828	V829	V830	V831	V832	V833	V834	V835	V836	V837	V838	V839	V840	V841	V842	V843	V844	V845	V846	V847	V848	V849	V850	V851	V852	V853	V854	V855	V856	V857	V858	V859	V860	V861	V862	V863	V864	V865	V866	V867	V868	V869	V870	V871	V872	V873	V874	V875	V876	V877	V878	V879	V880	V881	V882	V883	V884	V885	V886	V887	V888	V889	V890	V891	V892	V893	V894	V895	V896	V897	V898	V899	V900	V901	V902	V903	V904	V905	V906	V907	V908	V909	V910	V911	V912	V913	V914	V915	V916	V917	V918	V919	V920	V921	V922	V923	V924	V925	V926	V927	V928	V929	V930	V931	V932	V933	V934	V935	V936	V937	V938	V939	V940	V941	V942	V943	V944	V945	V946	V947	V948	V949	V950	V951	V952	V953	V954	V955	V956	V957	V958	V959	V960	V961	V962	V963	V964	V965	V966	V967	V968	V969	V970	V971	V972	V973	V974	V975	V976	V977	V978	V979	V980	V981	V982	V983	V984	V985	V986	V987	V988	V989	V990	V991	V992	V993	V994	V995	V996	V997	V998	V999	V1000	V1001	V1002	V1003	V1004	V1005	V1006	V1007	V1008	V1009	V1010	V1011	V1012	V1013	V1014	V1015	V1016	V1017	V1018	V1019	V1020	V1021	V1022	V1023	V1024	V1025	V1026	V1027	V1028	V1029	V1030	V1031	V1032	V1033	V1034	V1035	V1036	V1037	V1038	V1039	V1040	V1041	V1042	V1043	V1044	V1045	V1046	V1047	V1048	V1049	V1050	V1051	V1052	V1053	V1054	V1055	V1056	V1057	V1058	V1059	V1060	V1061	V1062	V1063	V1064	V1065	V1066	V1067	V1068	V1069	V1070	V1071	V1072	V1073	V1074	V1075	V1076	V1077	V1078	V1079	V1080	V1081	V1082	V1083	V1084	V1085	V1086	V1087	V1088	V1089	V1090	V1091	V1092	V1093	V1094	V1095	V1096	V1097	V1098	V1099	V1100	V1101	V1102	V1103	V1104	V1105	V1106	V1107	V1108	V1109	V1110	V1111	V1112	V1113	V1114	V1115	V1116	V1117	V1118	V1119	V1120	V1121	V1122	V1123	V1124	V1125	V1126	V1127	V1128	V1129	V1130	V1131	V1132	V1133	V1134	V1135	V1136	V1137	V1138	V1139	V1140	V1141	V1142	V1143	V1144	V1145	V1146	V1147	V1148	V1149	V1150	V1151	V1152	V1153	V1154	V1155	V1156	V1157	V1158	V1159	V1160	V1161	V1162	V1163	V1164	V1165	V1166	V1167	V1168	V1169	V1170	V1171	V1172	V1173	V1174	V1175	V1176	V1177	V1178	V1179	V1180	V1181	V1182	V1183	V1184	V1185	V1186	V1187	V1188	V1189	V1190	V1191	V1192	V1193	V1194	V1195	V1196	V1197	V1198	V1199	V1200	V1201	V1202	V1203	V1204	V1205	V1206	V1207	V1208	V1209	V1210	V1211	V1212	V1213	V1214	V1215	V1216	V1217	V1218	V1219	V1220	V1221	V1222	V1223	V1224	V1225	V1226	V1227	V1228	V1229	V1230	V1231	V1232	V1233	V1234	V1235	V1236	V1237	V1238	V1239	V1240	V1241	V1242	V1243	V1244	V1245	V1246	V1247	V1248	V1249	V1250	V1251	V1252	V1253	V1254	V1255	V1256	V1257	V1258	V1259	V1260	V1261	V1262	V1263	V1264	V1265	V1266	V1267	V1268	V1269	V1270	V1271	V1272	V1273	V1274	V1275	V1276	V1277	V1278	V1279	V1280	V1281	V1282	V1283	V1284	V1285	V1286	V1287	V1288	V1289	V1290	V1291	V1292	V1293	V1294	V1295	V1296	V1297	V1298	V1299	V1300	V1301	V1302	V1303	V1304	V1305	V1306	V1307	V1308	V1309	V1310	V1311	V1312	V1313	V1314	V1315	V1316	V1317	V1318	V1319	V1320	V1321	V1322	V1323	V1324	V1325	V1326	V1327	V1328	V1329	V1330	V1331	V1332	V1333	V1334	V1335	V1336	V1337	V1338	V1339	V1340	V1341	V1342	V1343	V1344	V1345	V1346	V1347	V1348	V1349	V1350	V1351	V1352	V1353	V1354	V1355	V1356	V1357	V1358	V1359	V1360	V1361	V1362	V1363	V1364	V1365	V1366	V1367	V1368	V1369	V1370	V1371	V1372	V1373	V1374	V1375	V1376	V1377	V1378	V1379	V1380	V1381	V1382	V1383	V1384	V1385	V1386	V1387	V1388	V1389	V1390	V1391	V1392	V1393	V1394	V1395	V1396	V1397	V1398	V1399	V1400	V1401	V1402	V1403	V1404	V1405	V1406	V1407	V1408	V1409	V1410	V1411	V1412	V1413	V1414	V1415	V1416	V1417	V1418	V1419	V1420	V1421	V1422	V1423	V1424	V1425	V1426	V1427	V1428	V1429	V1430	V1431	V1432	V1433	V1434	V1435	V1436	V1437	V1438	V1439	V1440	V1441	V1442	V1443	V1444	V1445	V1446	V1447	V1448	V1449	V1450	V1451	V1452	V1453	V1454	V1455	V1456	V1457	V1458	V1459	V1460	V1461	V1462	V1463	V1464	V1465	V1466	V1467	V1468	V1469	V1470	V1471	V1472	V1473	V1474	V1475	V1476	V1477	V1478	V1479	V1480	V1481	V1482	V1483	V1484	V1485	V1486	V1487	V1488	V1489	V1490	V1491	V1492	V1493	V1494	V14

Bijlage 21: Totstandkoming Geo-Impuls programma



(Op basis van gesprekken met betrokken Geo-Impuls experts en Stuurgroepleden)

Het Geo-Impuls programma met haar twaalf werkgroepen is het operationele deel van Geo-Impuls, waar kennis en producten worden ontwikkeld voor verbetering van bedrijfsprocessen en –producten binnen de gww-sector. De totstandkoming hiervan is begonnen met een expertanalyse van het benodigde verbeterpotentieel van de sector. ‘Wat worden door deze experts als probleempunten gezien?’ ‘Welke verbeteringen zijn nodig voor een structurele aanpak van geotechnische faalkosten?’ De resultaten van deze analyses zijn gepresenteerd op 30 januari 2009 en zijn te vinden in bijlage 22.

Het bovenstaande figuur laat vervolgens zien dat deze verbeteringen zijn gebruikt voor het bedenken van projectvoorstellen. Hierbij zijn 38 concrete projecten bedacht waarin specifieke producten en/of processen zouden worden ontwikkeld (zie bijlage 23). Een aantal van deze projectvoorstellen zijn gevormd op basis van persoonlijke voorkeur van één of meerdere experts, aangezien er op dat moment bijvoorbeeld bepaalde (ook voor Geo-Impuls interessante) promotiestudies of nevenprojecten liepen.

Drieëntwintig van deze projecten zijn vervolgens geselecteerd en gebundeld bij de vorming van twaalf werkgroepen. Deze projecten hadden naar de mening van de selecterende experts het meeste verbeterpotentieel en leken zodanig op elkaar dat ze soms gebundeld konden worden tot één werkgroep. Het resultaat van deze Geo-Impuls werksessies is in detail gepresenteerd in boekvorm op 11 mei 2009. De overzichtssamenvatting hiervan is te vinden in bijlage 24.

Op basis van al deze resultaten, gesprekken met stuurgroepleden (bijlage 2), informele gesprekken ‘op de werkvloer’ en verslagen van stuurgroepvergaderingen wordt duidelijk dat de totstandkoming van het Geo-Impuls programma aangepakt is op een zo structureel mogelijke manier, gezien de beschikbare mensen en middelen. Het is hiermee zeker geen ‘nattevingerwerk’ van slechts enkele experts, zoals buitenstaanders wellicht zullen denken.

Het Geo-Impuls programma is op het gebied van kennis, financiën en mensen echter afhankelijk van investerende deelnemers. Een ‘second opinion’ op deze resultaten zou daarom laten zien dat Geo-Impuls daadwerkelijk zoekt naar de meest effectieve en efficiënte manier om haar doelstelling te bereiken en haar eigen resultaten laat controleren. De huidige totstandkoming van Geo-Impuls baseert zich namelijk vooral op praktijkervaringen van professionals in de sector, aangevuld met onderzoek van de heer A.F. van Tol, *Schadegevallen bij Bouwputten* (Van Tol, 2008) en de rapportage *Leren van Geotechnisch falen* (CUR, 2010).

Geo-Impuls baseert zich hiermee op ervaringen van experts (subjectief) en een diepgaande studie van slechts enkele geotechnisch gefaalde projecten (kwalitatief wetenschappelijk / objectief). Controle van het Geo-Impuls programma met de kwantitatief wetenschappelijk onderzoeksresultaten van dit onderzoek zouden echter een ander licht kunnen werpen op de door Geo-Impuls ontworpen aanpak van geotechnisch falen.

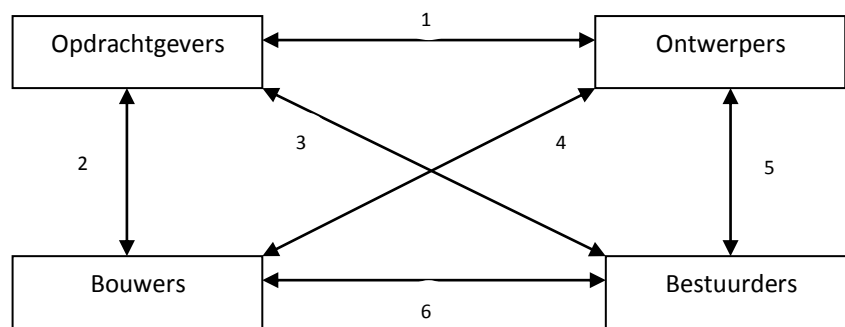
Bijlage 22: Probleemanalyse Geo-Impuls

Analyse Resultaten Geo-Impuls 30-01-09

Hieronder volgt een schematische uitwerking van de resultaten van de Minitop Geo-Impuls die op 30 januari 2009 is gehouden in het LEF Future Center.

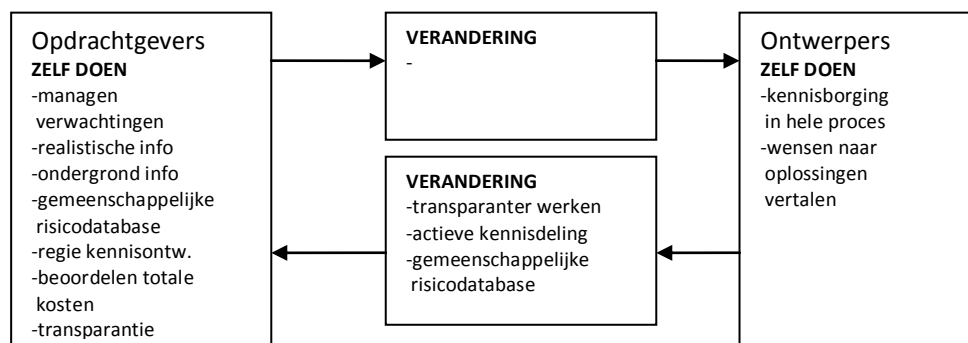
Geo-Impuls Actoren matrix	Van anderen nodig om gewaagd doel te bereiken			
	Ontwerpers	Bouwers	Opdrachtgevers	Bestuurders
Ontwerpers		-	-transparanter werken -actieve kennisdeling -gemeenschappelijke risicodatabase	-juiste informatie
Bouwers	-betrokkenheid		-transparanter werken -voldoende informatie -minder juristen -actieve kennisdeling -gemeenschappelijke risicodatabase	-juiste informatie -sociaal gedrag -contract nakomen
Opdrachtgevers	-	-betrouwbare info -betrokkenheid -getrapte selectie -passend contract -gunning op waarde -verplichting tot kennisdelen		-juiste informatie -onafhankelijk advies -risico attentie -beslismomenten -beloningen in contract
Bestuurders	-betrokkenheid	-overleg	-transparanter werken en communiceren -acceptatie onzekere ondergrond	
	Eigen bijdrage om gewaagd doel te bereiken			
	Ontwerpers	Bouwers	Opdrachtgevers	Bestuurders
	-kennisborging in hele proces -wensen naar oplossingen vertalen	-partnering met buitenland -risico's expliciet -risicoverdeling -kennisborging -ervaringsborging -kennisdeling -geot. bewustzijn -kwaliteit: proces en product -proactiviteit	-managen verwachtingen -realistische info -ondergrond info -gemeenschappelijke risicodatabase -regie kennisontw. -beoordelen totale kosten -transparantie	-10 % extra budget -communicatie van verwachtingen -kwetsbaar opstellen -vertrouwen geven

Actoren-netwerk

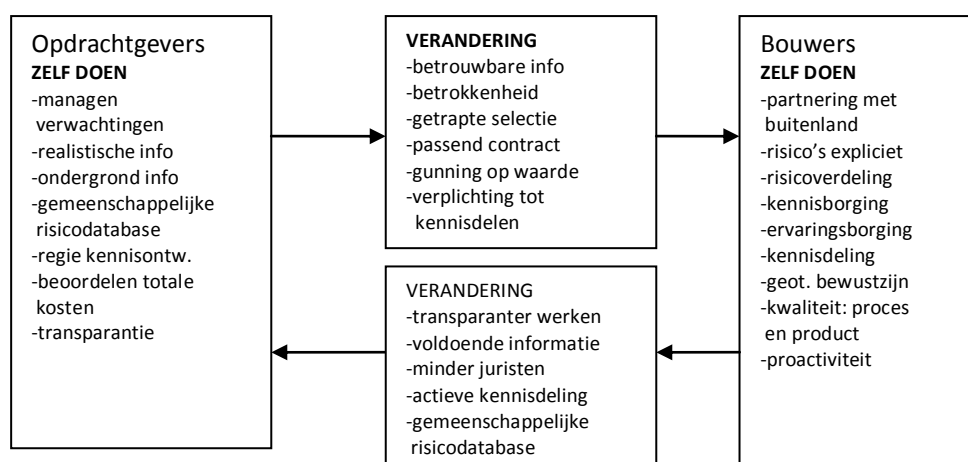


De pijlen geven de 6 relaties tussen paren van steeds 2 actoren aan. Hieronder zijn deze 6 relaties uitgewerkt, waarbij is aangegeven welke kwaliteiten de actoren *zelf* dienen te *ontwikkelen* (als individuele organisatie of als branche) en wat ze ten opzichte van *elkaar* moeten *veranderen*, om gezamenlijk het gewaagde doel te bereiken.

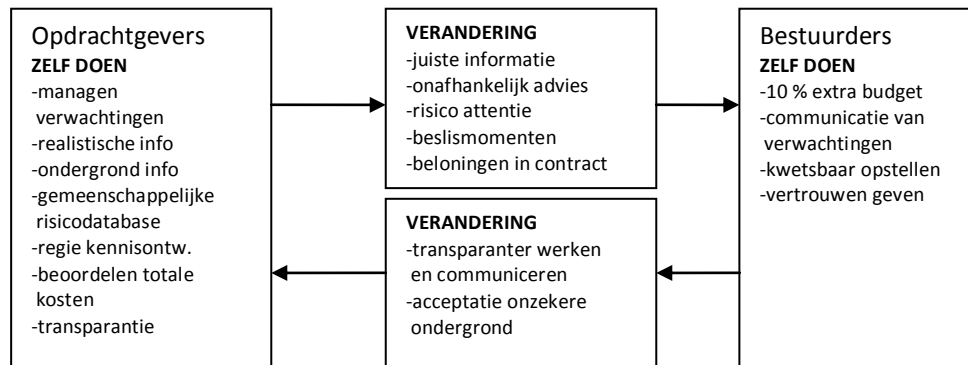
1. Wederzijdse relatie Opdrachtgevers – Ontwerpers



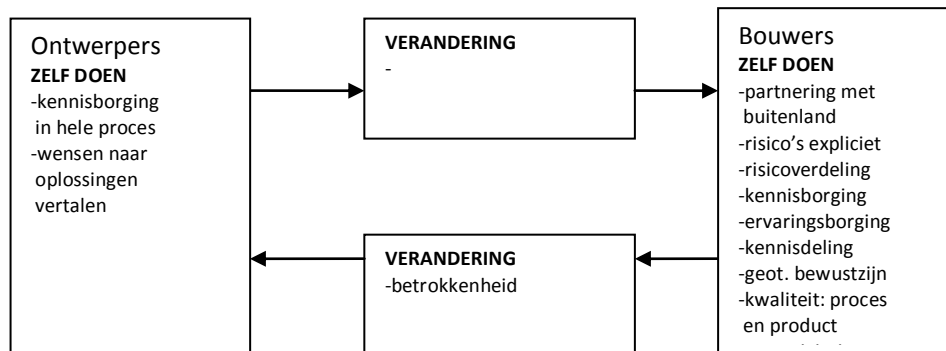
2. Wederzijdse relatie Opdrachtgevers – Bouwers



3. Wederzijdse relatie Opdrachtgevers - Bestuurders



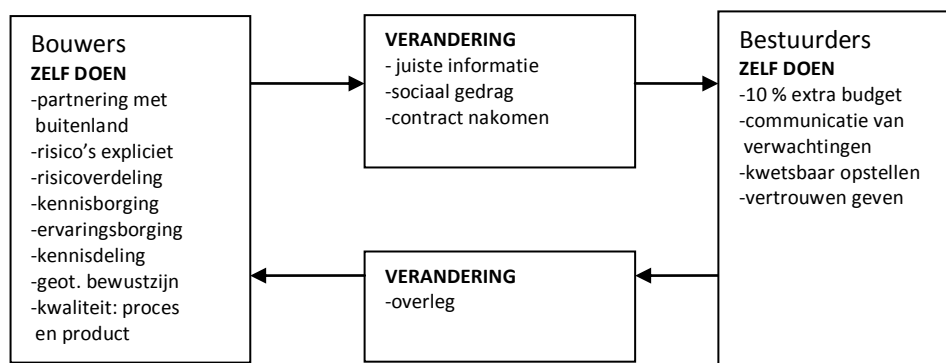
4. Wederzijdse relatie Ontwerpers – Bouwers



5. Wederzijdse relatie Ontwerpers – Bestuurders



6. Wederzijdse relatie Bouwers - Bestuurders



Bijlage 23: Gevormde Geo-Impuls projectvoorstellen

Pijler I: Geo-engineering in contracten

- | | | |
|---|---|--|
| I | 1 | Kwaliteitseisen in Contracten |
| I | 2 | Risicoverdeling GeoTechniek in Projecten |
| I | 3 | Processeisen Geotechniek Vraagspecificatie |

Pijler II: Toepassen en delen van bestaande kennis

- | | | |
|----|----|--|
| II | 1 | "Laboratoriumonderzoek in DINO" |
| II | 2 | Restzettingseisen en Contracten |
| II | 3 | Promotie Normen en richtlijnen |
| II | 4 | Diepwanden |
| II | 5 | Toepassing Grondverbeteringstechnieken |
| II | 6 | Imagoverbetering via Opleiding & Onderwijs |
| II | 7 | Grondbevriezing – ONTBREEKT - |
| II | 8 | Showcase Observational Method |
| II | 9 | Toepassing Innovatieve dijkversterkingstechnieken |
| II | 10 | Meetgegevens breder beschikbaar maken |
| II | 11 | Toepassing Injectietechnieken |
| II | 12 | GeoTechniek in de Planfase |
| II | 13 | Showcase Probabilistisch Plannen |
| II | 14 | Ondergronds Risicomanagement binnen Projecten (GeoQ) |
| II | 15 | Een vernieuwd GEONET |
| II | 16 | Leren van het buitenland |

Pijler III: Kwaliteit ontwerp en uitvoering

- | | | |
|-----|---|---|
| III | 1 | Grondonderzoek in de tenderfase (2 delen) |
| III | 2 | Kloof uitvoering - adviseur |
| III | 3 | Opleiding/onderwijs |
| III | 4 | Geotechnische classificatie |

Pijler IV: Nieuwe kennis voor geo-engineering

- | | | |
|----|-----|---|
| IV | 1 | Robuust ontwerp van waterkeringen rond NOW's en overgangsconstructies |
| IV | 2 | Lange termijn metingen en modelverbeteringen |
| IV | 3 | Beheersen risico's m.b.t. bouwtrillingen |
| IV | 4 | Verbeteren kwaliteitcontrole in de grond gevormde elementen doormiddel van monitoring |
| IV | 5 | Bio-Bouwstoffen - Levensduur |
| IV | 6 | Voorspelling naverdichting door inbrengen en uittrekken damwanden |
| IV | 7 | Betere modellering gronddeformaties in EEM –(spoor)wegverbredingen |
| IV | 8 | Betrouwbaarder Ondergrond Model |
| IV | 9 | Zettingsvloeiingen |
| IV | 10a | Modellering gedrag organische gronden -onverzadigd |
| IV | 10b | Modellering gedrag organische gronden |

Pijler V: Managen van verwachtingen

- | | | |
|---|---|--|
| V | 1 | Geo-communicatie Impuls |
| V | 2 | Geo-start Impuls (initiatief- en planfase) |
| V | 3 | Geo-monitoring Impuls (ontwerp- en uitvoeringsfase) |
| V | 4 | Geo-kenniskracht Impuls (plan-, ontwerp- en uitvoeringsfase) |
| V | 5 | Geo-uitvoeringstoets (uitvoeringsfase) |
| V | 6 | Geo-product Impuls |

Bijlage 24: Gevormde Geo-Impuls werkgroepen & Begroting

(Stand 11 mei 2009)

Geo-Impuls		Projectvoorstellen geprioriteerd d.d. 11 mei 2009		Gebundeld			
Nr		Titel	Trekker(s) en deelnemers	Score	Genormeerde score per doelgroep	Raming uren	Raming kosten (€)
1	I-2	Risicoverdeling geotechniek in projecten	Trekker: Paul Litjens RWS, facilitator: Martin van Staveren Deltares, leden: Erwin de Jong VWSG, Jacco Haasnoot CRUX, Cees Buijs GWR, CROW/CUR	59		40 / project (2)	p.m. in projecten
2	V-1 + III-3 (+ II-6)	Geo Communicatie Impuls + Opleiding/onderwijs (+ Imagoverbetering via opleiding en onderwijs)	Trekker: Klaas-Jan Bakker COB, leden: Asker Dekker RWS, Cees Buijs GWR, Mark Pehlig Fugro, Erwin de Jong VWSG, Martin van Staveren Deltares, Marjolein Versteegden Arcadis, Jurgen Herbschleb Royal Haskoning + Jan van Dalen Strukton, Harry Dekker RWS, Paul Cools RWS (+/-)	75 (+16=91)		(600/jaar KI; 150/jaar overig)	50.000 - 75.000/jaar + 50.000 (+ 30.000 - 50.000/jaar)
3	III-1	Grondonderzoek in de tenderfase	Trekker: ?, leden: CUR, DVW/BVW, RWS	56		p.m.	53.400 (loopt); 43.700 aanvullend
4	IV-4 + II-4	Verbeteren kwaliteitscontrole in de grond gevormde elementen door middel van monitoring + Diepwanden	Trekker: Frits van Tol TUD, leden: Klaas-Jan Bakker COB, Arjan Venmans Deltares, Harry Dekker RWS, Paul Cools RWS, Paul Rebel IBA, Mark Pehlig Fugro, Erwin de Jong VWSG, Jan van Dalen Strukton + CUR, Deltares, Jan van Dalen Strukton	62			300.000-500.000 (spoor A); 100.000-150.000 (spoor B) + 130.000 (State of art rapport); 600.000-1.500.000 (praktijkonderzoek)
5	I-3 + I-17	Processeisen geotechniek vraagspecificatie + kwaliteitseisen in contracten	Trekker: Leon Tiggeleman BAM, leden: Henkjan Beukema RWS, Cees Buijs GWR, CROW + CROW, Henkjan Beukema, Cees Buijs	61		200 + ?	ca. 2000 + ?
6	II-14 + III-4 + V-4 + V-3 + V-2 + II-12	Ondergronds risicomanagement binnen projecten (GeoQ) + Classificatie Geo-complexiteit + Geokenniskracht impuls + Geo-monitoringsimpuls Geo-start impuls + Geotechniek in de planfase	Trekker: Paul Litjens RWS, leden: RWS, Jacco Haasnoot CRUX, Jurgen Herbschleb Royal Haskoning, RISNET, Deltares + RWS, Fugro, IBA	102		projecten	30.000 eenmalig; rest projecten
7	III-2 + V-5	Kloof-uitvoering adviseur + Geo-uitvoeringstoets	Trekker: Bart van Paassen BAM, leden: Hans Moll Strukton	37		p.m. + 1.500-2.000	p.m. + 35.000 - 50.000 (organisatie) / 25.000 - 50.000 (aanvullend onderzoek)
8	IV-8	Betrouwbaar ondergrond model	Trekker: Arjan Venmans Deltares, Klaas-Jan Bakker COB, leden: Govertine de Raat RWS, Jan Jaap Heerema RWS	28			400.000-1.000.000
9	IV-2	Lange termijn metingen en modelverbetering	Trekker: Mark Pehlig FUGRO, leden: Waldo Molendijk Deltares, Harry Dekker RWS, Paul Cools RWS, Govertine de Raat RWS, PRORAIL	27		p.m.	220.000 (150 k monitoring, 70 k validatie)
10	II-8	Showcase observational methods	Trekker: ?, leden: Waldo Molendijk Deltares	21			200.000-300.000 exclusief pilot; pilot zelf 1.000.000-2.000.000
11	II-16	Leren van het buitenland	Trekker: Paul Cools RWS, leden: Erwin de Jong VWSG, Frits van Tol TUD	21		40 pp. per missie; 80 pp/jaar/land/werkgroep	5.000 pp/missie; 25.000/jaar/land; 10.000 pp/jaar/land
12	II-15 + II-3	Een vernieuwd GEONET + Promotie normen en richtlijnen	Trekker: Paul Cools KIVI/NIRIA + leden: Jan van Dalen Strukton, Harry Dekker RWS, Paul Cools RWS	26		p.m. + KI: 8-16/week	50.000-100.000 aanpassing site; 30.000/jaar beheer + 60.000 opstellen site + 100.000/jaar documenten beschikbaar stellen
13	IV-3	Beheersen risico's m.b.t. bouwtrillingen	Trekker: ?, leden: ?	11			350.000 investering, 250.000 praktijktoetsing

(Stand 1 juli 2009)

Geo-impuls		Werkgroepen Relevante opzet		Dekking jaren (t) p.b.v. € 100,-/jaar											
Nr	Titel	Budget totaal (€)	Kosten Programma/bureau	Overige Activiteiten (€)	Dekking jaren (t)				Dekking jaren (t) p.b.v. € 100,-/jaar				Dekking jaren (t) p.b.v. € 100,-/jaar		
					Dekking jaren (t)				Dekking jaren (t) p.b.v. € 100,-/jaar				Dekking jaren (t) p.b.v. € 100,-/jaar		
					Ontwerpers	Remediatie/ontwerpers	Overige activiteiten	Overige activiteiten	Ontwerpers	Remediatie/ontwerpers	Overige activiteiten	Overige activiteiten	Ontwerpers	Remediatie/ontwerpers	Overige activiteiten
1	Risicoverdeling geotechniek in projecten	43.000	4.300	38.700	5.300	30.700	30.700	30.700	189.386	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
2	Geo Communicatie Platform	1.385.000	138.500	1.246.500	53.400	294.500	294.500	294.500	189.386	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
3	Grondonderzoek in de tendersfase	60.000	6.000	54.000	1.000	15.000	15.000	15.000	9.500	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
4	Verderen kwaliteitscontrole in de grond gevormde elementen	175.000	17.500	157.500	11.000	10.000	10.000	10.000	9.500	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
5	Concreet en stalen constructies	75.000	7.500	67.500	2.000	10.000	10.000	10.000	9.500	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
6	De ondergrond naar de voorgrond - GeoQ	261.000	26.100	234.900	26.100	36.500	36.500	36.500	37.500	29.000	29.000	29.000	29.000	29.000	29.000
7	Kloof-uitvoering adviseur	250.000	25.000	225.000	12.500	60.000	60.000	60.000	37.500	29.000	29.000	29.000	29.000	29.000	29.000
8	Betrouwbaar ondergrond model	600.000	60.000	540.000	25.000	20.000	20.000	20.000	37.500	29.000	29.000	29.000	29.000	29.000	29.000
9	Lange termijn metingen en modelverbetering	423.000	42.300	380.700	25.000	20.000	20.000	20.000	37.500	29.000	29.000	29.000	29.000	29.000	29.000
10	Showcase observation method	400.000	40.000	360.000	25.000	20.000	20.000	20.000	37.500	29.000	29.000	29.000	29.000	29.000	29.000
11	Internationalisatie samenwerking	200.000	20.000	180.000	25.000	20.000	20.000	20.000	37.500	29.000	29.000	29.000	29.000	29.000	29.000
12	Overige activiteiten	77.000	7.700	69.300	25.000	20.000	20.000	20.000	37.500	29.000	29.000	29.000	29.000	29.000	29.000
Totale omvang		6.382.000	630.700	5.751.300	200.222	1.747.625	1.747.625	1.747.625	350.311	303.500	303.500	303.500	350.311	303.500	303.500

Bijlage 25: Veelgebruikte definities in literatuur

Definiëring kwaliteit:	Bron:
'Waarde'	Abbot (1955), Feigenbaum (1951)
'Geschiktheid voor het gebruik'	Juran (1951)
'Conformiteit aan de specificaties'	Gilmore (1974), Levitt (1972)
'Conformiteit aan de eisen'	Crosby (1979)
'Het tegemoetkomen aan- en/of overtreffen van klantverwachtingen.'	Grönroos (1983), Parasuraman <i>et al.</i> (1985)
'De vergelijking tussen verwachtingen en prestatie.'	Parasuraman (1985)
'Verlies vermindering'	Ross (1989)
'De totaliteit van eigenschappen en kenmerken van een product of dienst die van invloed zijn op het vermogen om in expliciete of impliciete behoeften te voldoen.'	Abdul-Rahman (1995)
'Een eigendom van mensen hun houding en geloof, welke vaak veranderd gedurende de levenscyclus van een project.'	Atkinson (1999)
'Som van bruikbaarheid, veiligheid, duurzaamheid en compatibiliteit van ontworpen oplossing.'	Bea (2006)

Definiëring faalkosten:	Bron:
'De kosten voor een herstel, in de vorm van een onvolkomenheid, non-conformiteit of defect, om alsnog aan de gestelde vereisten te voldoen.'	Abdul-Rahman (1995)
'De kosten en gederfde opbrengsten die ontstaan door kwaliteitsafwijkingen die nog vóór de levering aan de afnemer in het eigen bedrijf worden geconstateerd of die ná levering door de afnemer worden bemerkt.'	Smit & Hamberg (1995)
'Alle kosten die ten behoeve van het eindproduct zijn gemaakt, ontstaan door vermijdbaar tekortschieten.'	Wichers & Fleuren (2006)
'Alle kosten die onnodige ten behoeve van het eindproduct zijn gemaakt, veroorzaakt doordat het bouwproces onnodig inefficiënt verloopt, het eindproduct niet aan de afgesproken kwaliteitseisen voldoet, of wanneer er zaken moeten worden hersteld of vervangen.'	SBR (2011)

Definiëring geotechnisch falen:	Bron:
'Breuk of instorting van belangrijke delen of het geheel van het project, of wanneer de exploitatie van het project aanzienlijke schade of letsel veroorzaakt aan anderen.'	Sowers (1994)
'Alles van instorting tot contractuele claims, met als gevolg dat de vooruitgang van het project in gevaar komt.'	Chapman <i>et al.</i> (2007)
'Fouten als gevolg van afwijkingen in de aanvaardbare of acceptabele uitvoering van bouwprojecten.'	Atkinson (1998)
'Realisatie van ongewenste en onverwachte compromissen in de kwaliteit van het ontworpen systeem.'	Bea (2006)

Definiëring risico:	Bron:
'Een afspiegeling van variatie in de verdeling van mogelijke uitkomsten.'	March & Shapira (1987)
'De mate waarin er onzekerheid bestaat over de vraag of potentieel belangrijke en/of teleurstellende resultaten van besluiten zullen worden gerealiseerd.'	Sitkin & Pablo (1992)
'Een door de risiconemer beïnvloedbare factor binnen een dynamisch keuzeprocess'	Halman (1994)
'De mogelijkheid dat gebeurtenissen, de daaruit voortvloeiende gevolgen en dynamische interacties anders uitpakken dan verwacht.'	Miller & Lessard (2001)
'Willekeur met bekende waarschijnlijkheden.'	Knight (2002)

Definiëring geotechnisch risico:	Bron:
<i>'De prijs voor het oplossen van geotechnische problemen waarvoor geen hedendaagse passende technologie bestaat.'</i>	Sowers (1994)
<i>'Onvoorziene geologische condities.'</i>	Hoek & Palmeiri (1998)
<i>'De kans dat een geotechnisch gerelateerd verlies optreedt.'</i>	Whitman (2000)
<i>'Het risico dat zich voordoet op een constructie door de grond of grondwater door condities op de bouwlocatie.'</i>	Clayton (2001)
<i>'De kans op gevaar of commerciële schade.'</i>	Trenter (2003)
<i>'Een onzekere gebeurtenis of een reeks van omstandigheden die, mocht dat gebeuren, een effect zou kunnen hebben op de verwezenlijking van de doelstellingen van het project.'</i>	Trenter (2003)
<i>'De kans op een ongewenste gebeurtenis met een bepaalde meetbare economische schade.'</i>	Trenter (2003)
<i>'Het potentieel schadelijke product van de kans van optreden en de gevolgen van een geotechnisch incident.'</i>	Chapman et al. (2007)
<i>'Risico's waarvan de oorzaak in de geotechnische gesteldheid, archeologische aarde, aanwezigheid van explosieven, (grond)water of verontreiniging ligt.'</i>	Halman et al. (2008)

Bijlage 26: Risico's bij bouwprojecten

In de paragrafen 3.1 t/m 3.3 is op een convergerende manier toegewerkt naar een werkbare, cumulatieve definitie van het begrip geotechnisch falen. Binnen bouwprojecten werd kwaliteit beschouwd, binnen kwaliteit werd falen beschouwd en binnen falen werd geotechnisch falen beschouwd. Deze paragraaf brengt hier verandering in, door kort te divergeren naar een breder begrip van geotechnisch falen in verhouding tot risico's. Het managen van deze risico's wordt namelijk steeds belangrijker. Ongetwijfeld zal dit ook consequenties hebben voor de uitkomst van deze risico's. Daarom is het van groot belang geotechnisch falen in het licht van risico's en risicomanagement te zien.

Definitie risico

Risico is een veel gebruikt begrip in diverse branches en zijn door de aard van de diverse branches uiteenlopend. In de wetenschappelijke literatuur zijn er verschillende definities te vinden (bijlage 25). Het vinden van een bevredigende empirische definitie van risico is echter lastig (March & Shapira, 1987). Afhankelijk van de eigen perceptie vallen hier altijd nog extra zaken binnen of buiten.

Jaafari (2001) definieert risico als de blootstelling van winst/verlies, of de kans van optreden van winst/verlies vermenigvuldigt met de respectievelijke impact. Flanagan en Norman (1993) definiëren risico als het geheel van mogelijkheid van optreden, oorzaak, gebeurtenis en effect ervan. Een risico definiëren risico als "kans maal gevolg" geeft eigenlijk geen reële voorstelling van de rangorde in risico's (Williams, 1996). Het vergelijken van risico's is met deze methode erg simpel, maar niet realistisch. Dit zou namelijk kunnen betekenen dat een risico met een kleine kans en groot gevolg (bijv. ongeluk bungeejumping), gelijk wordt gesteld met een risico met een grote kans en klein gevolg (bijv. blauwe plek).

Zoals is beschreven zijn er veel verschillende definities van risico, maar er is geen algemeen geaccepteerde definitie voor risico (Vlek, 1990; Asselt, 2000; Aven & Kristensen, 2005; Atkinson *et al.*, 2006; Chapman, 2006). Om toch enige eenduidigheid te creëren heeft het Nederlandse Normalisatie Instituut (NEN) een NEN norm uitgebracht waarin een uitgebreide definitie is beschreven voor het begrip risico:

Definitie van risico volgens NEN-ISO 31000:2009:

"Effect van onzekerheid op het behalen van doelstellingen."

Ad 1: effect is een afwijking ten opzichte van de verwachting-positief en/of negatief.

Ad 2: doelstellingen variëren op diverse aspecten (financieel, planning etc.) en kunnen op verschillende niveaus actief zijn (strategisch, tactisch, operationeel).

Ad 3: een risico wordt vaak als verwijzing gezien naar mogelijke gebeurtenissen en gevolgen of een combinatie daarvan.

Ad 4: een risico wordt vaak uitgedrukt als een combinatie van de gevolgen van een gebeurtenis en de bijbehorende waarschijnlijkheid dat de gebeurtenis zich voordoet.

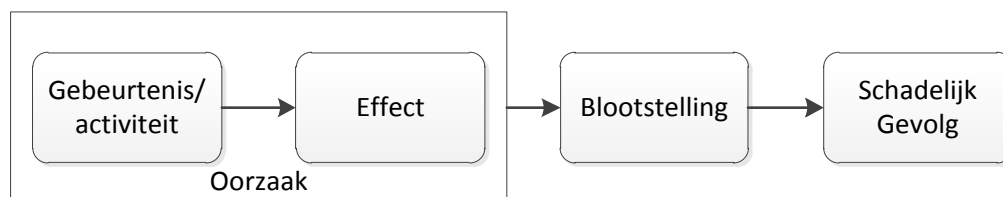
Ad 5: onzekerheid is het geheel of gedeeltelijk ontbreken van informatie over, inzicht in of kennis van een gebeurtenis, de gevolgen daarvan of de waarschijnlijk dat deze zich voordoet.

Deze risicodefinitie van de NEN heeft er toe geleid dat, in combinatie met de eerder genoemde inzichten, de volgende definitie voor risico is gekozen:

Risico:

Negatief effect van bekende en onbekende onzekerheden op het behalen van doelstellingen.

Diverse auteurs (Kliem & Ludin, 1997; MacCrimmon & Wehrung, 1986, en Stam *et al.*, 2003) trachten het begrip risico te ontrafelen in diverse componenten. Voorbeelden zijn kans van optreden, beïnvloedbaarheid, impact bij optreden etc. Deze auteurs hebben allemaal gemeen dat de definities en de ontrafelde componenten allen uit twee basis componenten bestaan; een *waarde-* en een *waarschijnlijkheidscomponent* (Gehner, 2003). Aanvullend daarop concludeert Halman (2008) dat een risico kan worden voorgesteld als een procesketen waarbij oorzaak, blootstelling en schadelijk gevolg onlosmakelijk verbonden zijn met elkaar. Dit is ook weergegeven in de onderstaande figuur. Risico wordt hierin veelal gekenmerkt door *onzekerheid*, uitgedrukt in de vorm van kans of de mate van waarschijnlijkheid. Waarbij onzekerheid betrekking kan hebben op de gehele risicoketen. (Halman, 2008).



Risico als keten van oorzaak, blootstelling en schadelijk gevolg (Halman, 1994)

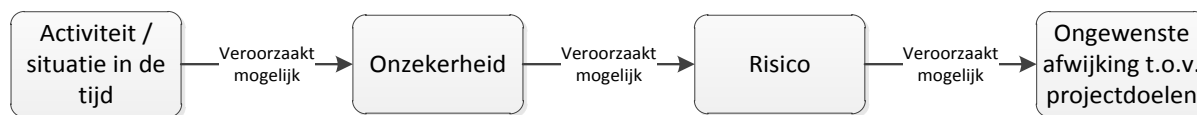
Risico's bij bouwprojecten (projectrisico's)

Dit onderzoek richt zich op de gww-sector in de Nederlandse bouw. Deze wordt voornamelijk gekenmerkt door infrastructurele projecten. In dit onderzoek staan risico's in projecten dan ook centraal. Projecten zijn namelijk per definitie unieke activiteiten (Kor & Wijnen, 2005) en anderzijds dynamisch (Halman, 1994). Een projectrisico is dus een niet frequent voorkomend en dynamisch beïnvloedbaar risico, welke subjectief beoordeelbaar is. Het bepalen van projectrisico's is geen simpele vermenigvuldiging van kans maal impact. Het risico als gevolg van een regenbui zou hiermee bijvoorbeeld op gelijke hoogte komen met dat van een overstroming. Bij het bepalen van projectrisico's dienen zowel kans als impact daarom nauwkeurig te worden beschouwd, omdat de lijst met risico's anders misleidend kan zijn (Williams, 1996; Kahneman & Tversky, 1979).

In de vorige paragraaf is al besproken dat risico's zowel negatief als positief kunnen worden opgevat. In het kader van *projectrisico's* dient ook eenzelfde overweging te worden gemaakt of risico's puur negatief of positief zijn, of een combinatie van beide. De algemene opvatting van professionele projectmanagers is dat een projectrisico als puur negatief wordt opgevat (MacCrimmon & Wehrung, 1986; March & Shapira, 1987; Atkintoye & MacLeod, 1997). Kijkend vanuit een ander perspectief naar risico's kan worden gesteld dat er twee soorten risico's zijn; speculatieve risico's en statische (ook wel zuivere) risico's (Claes, 2007). Er is sprake van een speculatief risico wanneer er kansen zijn op zowel winst als verlies. Bij een statisch (of zuivere) risico is er uitsluitend alleen maar sprake van verlies. Speculatieve en statische (zuivere) risico's gaan heel vaak samen. Het grote verschil tussen de twee categorieën is dat speculatieve risico's bewust worden opgeroepen en statische risico's niet. In het kader van dit onderzoek kan worden gesteld dat zich alleen maar statische risico's voordoen, en dus alleen maar een negatieve impact hebben. Nu is de vraag, waarop hebben projectrisico's dan een negatieve impact?

De menselijke oorzaken achter dit soort risico's wordt steeds sterker benadrukt (Atkinson, 1996; Bea, 2006; Sowers, 1991; Wearne, 2008; Whitman, 2000). Waar ongelukken en schade incidenten in eerste instantie vaak een technische oorzaak lijken te hebben, blijkt er vrijwel altijd een menselijke fout achter schuil te gaan (Freudenberg, 1988). De definitie van risico volgens NEN-ISO 31000 (2009) is "het effect van onzekerheid op het behalen van doelstellingen". Deze definitie geeft weer waarop een risico een negatieve impact heeft, op het behalen van projectdoelstellingen. Zoals eerder benadrukt bij het begrip risico, speelt de beïnvloedbaarheid een belangrijke rol bij de beschrijving van het begrip projectrisico.

Het gaat hier om de beïnvloedbaarheid van een activiteit of situatie binnen ene project waaruit een risico kan ontstaan en om de beïnvloedbaarheid van het gevolg van optreden van het risico. Hoe meer beïnvloedbaar, hoe lager het risico. Hoe minder beïnvloedbaar, hoe groter het risico. Een risico wordt dan ook opgevat als een door de risiconemer beïnvloedbare factor binnen een dynamisch keuzeprocess (Halman, 1994). In het onderstaande figuur wordt duidelijk dat dit leidt tot een risicoketen voor projectsituaties.



Risicoketen voor projectsituaties (Van der Heijden, 2006)

De definitie voor projectrisico's is hierbij, op basis van de vastgestelde componenten en afbakening, als volgt:

“Een projectrisico is de mogelijkheid van ongewenste afwijkingen ten opzichte de projectdoelen, als gevolg van onzekerheid binnen een project en verminderde beïnvloedbaarheid van activiteiten of situaties in een project” (Halman, 2008).

Projectrisico's zijn, naargelang hun aard, in te delen in de volgende categorieën (Halman *et al.*, 2008):

- Objectgerelateerde risico's
 - Programma van eisen
 - Ontwerp
 - Uitvoering
- Projectteamgerelateerde risico's
 - Planning
 - Kostenraming/Calculatie
 - Dossiers
- (Bedrijfs)organisatiegerelateerde risico's
 - Management/Bedrijfsregelgeving
 - Communicatie
 - Capaciteit
- Markt/Inkoopgerelateerde risico's
 - Gunning/Selectiecriteria
 - Contracten/Verzekeringen
 - Partners/Leveranciers
 - Overdracht/Betaling
 - Wisselkoers, rentevoet, inflatie en indexering
 - Markt(ontwikkelingen)
- Risico's vanuit de projectomgeving
 - Ondergrond
 - Archeologie
 - Explosieven
 - (Grond)water
 - Vervuiling
 - Flora en Fauna
 - Natuurinvloeden/Weersomstandigheden

Voor de risico's vanuit de projectomgeving kunnen hierbij worden aangemerkt als grotendeels directe geotechnische risico's. Binnen de geotechnische processen zijn echter ook veel indirecte geotechnische risico's, waarbij de oorzaak object-, projectteam-, dan wel (bedrijfs)organisatie gerelateerd is. Paragraaf 3.1 gaat hier verder op in.

Bijlage 27: Begripsbepalingen

Beoordelingskosten

Kosten voor het tijdig vaststellen van fouten. Hieronder vallen voornamelijk de arbeidsuren die gemoeid gaan met het opsporen van fouten, zowel binnen als buiten het productieproces
(Barber et al, 2000)

Bruikbaarheid

Mate van geschiktheid voor doel

Hoge mate van geschiktheid is hoge mate van bruikbaarheid.
(Bea, 2006)

Compatibiliteit

Mate van voldaanheid aan zakelijke en sociale doelstellingen

Hoge mate van voldaanheid is hoge mate van compatibiliteit
(Bea, 2006)

Duurzaamheid

Mate van onverwachte degradatie van kwaliteitskenmerken

Lage mate van onverwachte degradatie is hoge mate van duurzaamheid
(Bea, 2006)

Doelmatigheid:

Efficiëntie

Mate van gebruik van middelen om een bepaald doel te bereiken. Heeft betrekking op zaken als tijd, manuren, grondstoffen en geld. Is hiermee een proces gerelateerd begrip.
(in 't Veld, 2007)

Doeltreffendheid:

Effectiviteit

Mate van realisatie van doel. Heeft betrekking op de uitkomst van het proces.
(in 't Veld, 2007)

Externe faalkosten

Kosten als gevolg van gebreken die niet op tijd worden geconstateerd, zoals kosten voor de afhandeling van klachten, kosten ter voorkoming van schadeclaims, kosten van garantieclaims en de kosten voor het verlies van 'goodwill' (vertrouwen).

Faalkosten zijn onder te verdelen in interne faalkosten en externe faalkosten.
(Barber et al, 2000)

Faalkosten

Alle kosten die vermeden hadden kunnen worden indien het werk doeltreffend en doelmatig was uitgevoerd.

Deze definitie wordt gebruikt om te refereren aan alle extra kosten als gevolg van product- en proces deficiënties die zich manifesteren in de vorm van kostenoverschrijdingen, vertragingen en slechte kwaliteit. Hierbij wordt onderscheidt gemaakt tussen product- en proces gerelateerde faalkosten, vermijdbare en onvermijdbare faalkosten, directe en indirecte faalkosten etc.

Geo-engineering

Het realiseren van grondgerelateerde oplossingen met kwaliteit voor de belangrijkste stakeholders

(Definitie op basis van Bea, 2006)

Gevolg

(Schadelijk) resultaat van blootstelling aan bepaalde effecten van een gebeurtenis of activiteit (zie ook figuur 3.7 (Halman, 2008))

Onderscheid is mogelijk tussen verschillende gevolgen, zoals tijd, geld, reputatie, kwaliteit, veiligheid, overlast, etc.
(Halman, 2008)

Interne faalkosten

Kosten voor corrigerende maatregelen, zoals aanpassingen en herbewerkingen (inclusief de daarvoor noodzakelijke herkeuringen) en 'trouble shooting'
(Barber et al, 2000)

Kwaliteit

Som van bruikbaarheid, veiligheid, duurzaamheid en compatibiliteit van ontworpen oplossing
(Bea, 2006)

Kwaliteitskosten

Kosten voor het realiseren van een vooraf gestelde kwaliteit van een ontworpen oplossing, onder te verdelen in preventiekosten, beoordelingskosten en faalkosten
(Barber et al, 2000)

Preventiekosten

Kosten voor het voorkomen van kwaliteitsfouten, zoals kosten voor de verbetering van het kwaliteitssysteem, opleidingen, trainingen en nieuwe apparatuur.
(Barber et al, 2000)

Projectfalen

Realisatie van ongewenste en onverwachte compromissen in de kwaliteit van het ontworpen systeem
(Bea, 2006)

Risico

Waarschijnlijkheid (kans) in combinatie met de waarde (impact) van faal incident
Kans dat een bepaalde gebeurtenis of activiteit leidt tot een schadelijk gevolg
(zie ook figuur 3.7 (Halman, 2008))
(Van Staveren, 2010a)

Schadegevallen

Gebeurtenissen tijdens de bouw, die niet zijn voorzien en tot over het algemeen aanmerkelijke extra kosten leiden
(van Tol, 2007)

Semi-gestructureerd interview:

Halfgestructureerd interview

Interview waarbij de ondervrager van een aantal vragen uitgaat, die echter het verloop van het interview niet volledig bepalen. De ondervraagde krijgt veel ruimte om vrijuit zijn eigen verhaal te vertellen.

Stakeholder

Persoon of organisatie welke een direct of indirect aandeel in een project heeft en in de positie is om projectdoelstellingen en -beleid te beïnvloeden.

Stakeholders zijn in eerste instantie altijd de opdrachtgever (klant), en opdrachtnemers (architect en aannemer). Steeds vaker worden omwonenden en belangengroepen hier echter ook toe gerekend.

Trigger

Laatste, maar niet structurele oorzaak van falen

Veiligheid

Mate van onnodige blootstelling aan schade of letsel
Lage mate van onnodige blootstelling is hoge mate van veiligheid.
(Bea, 2006)

Waarschijnlijkheidscomponent

Kans van optreden. Ook wel aangeduid als 'kans'
(Kliem & Ludin, 1997)

Waardecomponent

Impact bij optreden. Ook wel aangeduid als 'gevolg'
(Kliem & Ludin, 1997)