

ConsulBrain: kwaliteitsbeheersing van consultancy

*Onderzoek naar een GeoBrain toepassing voor kwaliteitsbeheersing van
consultancy, met een specifieke uitwerking voor HDD-consultancy*

Universiteit Twente

G.A. Messinella

Augustus 2007

ConsulBrain: kwaliteitsbeheersing van consultancy

Onderzoek naar een GeoBrain toepassing voor kwaliteitsbeheersing van consultancy, met een specifieke uitwerking voor HDD-consultancy

Afstudeeronderzoek

Ter afronding van de studie Civiele Technologie & Management
aan de Universiteit Twente te Enschede

G.A. Messinella

Datum: 31 augustus 2007

Afstudeercommissie:

ir. H. Kroon (Universiteit Twente)

ir. K.T. Veenvliet (Universiteit Twente)

Voorwoord

Voor u ligt het rapport, dat is geschreven in het kader van de afronding van mijn studie Civiele Technologie & Management aan de Universiteit Twente. Vanaf 2004 ben ik bezig geweest om dit te verwezenlijken. Eerst bij het instituut GeoDelft om vervolgens de laatste jaren met pijn en moeite het rapport thuis af te schrijven.

Ik wil eerst beginnen om mijn begeleiders uit het begin van de afstudeerperiode te bedanken. Deze waren Thomas Bles en Bas Hemmen van GeoDelft. Bij dit instituut en specifiek bij de afdeling Funderingstechniek en Ondergrondse Werken, ben ik gastvrij behandeld en kon ik met plezier mijn moeizame werkzaamheden uitvoeren. Vervolgens bedank ik mijn eerste begeleiders van de Universiteit Twente: Sam Karim en Dik-Gert Mans. Het spijt me dat de communicatie en de samenwerking met jullie niet goed zijn verlopen.

Vervolgens wil ik Henk Kroon en Annet de Kiewit speciaal bedanken, dat jullie mij door het afstudeerproces heen hebben gesleept. Op de momenten dat ik er geen vertrouwen meer had, hebben jullie de hoop om uiteindelijk af te studeren levend gehouden. Natuurlijk bedank ik Henk Kroon ook voor zijn inhoudelijke begeleiding in de laatste periode van het afstudeerproces.

Aan het einde van dit voorwoord wil ik een speciaal dankwoord richten aan mijn ouders, broertje Maurizio, zusje Maria Daniela, vriend Rino en mijn lieve verloofde Angela. Bedankt voor alle hulp, steun en geduld in deze moeizame periode. Het is vooral jullie verdienste dat ik ben afgestudeerd!

Hengelo, 31 augustus 2007

Toni Messinella

Samenvatting

Kennis vormt steeds meer een belangrijk onderdeel van geleverde producten en diensten. In de huidige kennismaatschappij is kennis zelfs de belangrijkste productiefactor en neemt het aantal kennisintensieve ondernemingen steeds meer toe. In kennisintensieve organisaties is het cruciaal om op een effectieve wijze gebruik te maken van de aanwezige kennis voor de uitvoering van veel processen en activiteiten. De kwaliteit wat de professionals leveren, wordt namelijk vooral bepaald door de wijze waarop zij gebruik maken van ideeën, begrippen, modellen en informatie.

Een probleem binnen kennisintensieve organisaties is dat kennis verdeeld aanwezig en vaak moeilijk bereikbaar en toegankelijk is. Dit maakt dat kennis niet alleen ontoegankelijk is voor anderen maar ook kwetsbaar.

Dit *kennisprobleem* heeft als gevolg dat kennis niet optimaal wordt gebruikt, waardoor het uiteindelijk een negatieve invloed heeft op de kwaliteit van de te leveren dienstverlening. Professionele organisaties zijn bewust bezig de kwaliteit van hun dienstverlening te beheersen. Volgens de literatuur is de tijd namelijk voorbij dat een bepaald imago van een professional genoeg was om de kwaliteit van zijn dienstverlening aan te tonen.

Het onderzoek in dit rapport richt zich in eerste instantie op het bedrijf GeoDelft, waar geotechnische kennis een zeer belangrijke rol speelt.

Voor veel partijen in de markt is de geotechniek een weinig bekend vakgebied en vindt men het moeilijk geotechnische expertise op een vanzelfsprekende manier in het ontwerp - en bouwproces mee te nemen. Hiervoor werkt GeoDelft aan een concept genaamd GeoBrain, waarmee wordt getracht een bijdrage te leveren voor het oplossen van het geotechnische *kennisprobleem* binnen de bouwsector. Binnen GeoDelft vraagt zich men af of een toepassing van GeoBrain op interne projecten een oplossing kan zijn voor het kennisprobleem van hun eigen organisatie. Een mogelijke oplossing zou ook een bijdrage kunnen leveren voor de beheersing van de kwaliteit van het adviesproduct. GeoDelft streeft namelijk naar een kwalitatief hoogwaardig adviesproduct, waarbij ook nog van belang is dat dit product adviseur onafhankelijk is.

De doelstelling van dit onderzoek luidt daarom:

Kwaliteitsbeheersing van consultancy, door het ontwikkelen van een expertsysteem op basis van het GeoBrain - concept: "ConsulBrain". Dit wordt specifiek uitgevoerd voor adviesprojecten van GeoDelft over horizontaal gestuurde boringen (HDD), waarmee procesmatig een advies kan worden uitgevoerd, evenals de gevolgen van de belangrijkste gebeurtenissen op de kwaliteit van het advies kunnen worden geschat.

GeoBrain is een generieke modelaanpak voor het gestructureerd ontsluiten en gebruiken van verschillende soorten kennis. De ontsloten kennis wordt vastgelegd in een database, die kan worden gebruikt als directe ondersteuning bij het maken van beslissingen. Een deel van deze kennis zijn geanalyseerde projectrisico's, die gebruikt worden in technieken uit de kunstmatige intelligentie om voorspellingen te maken. De vastgelegde kennis in een database en de toegepaste kennis in Bayesiaanse netwerken, zullen leiden tot kwaliteitsverbetering van een expertconsult. Vastgelegde en vervolgens geïntegreerde kennis zal namelijk leiden tot een objectivering van subjectieve expertkennis.

Kennis wordt beheerst in kennismanagement, waarin het een continu proces is van gebruik van individuele intellectuele kennis en ervaringen binnen een organisatie, waardoor bepaalde doelstellingen effectief en efficiënt worden bereikt. Dit continue proces van kennismanagement bestaat uit data verzamelen en opslaan in een database, waaruit vervolgens informatie kan worden gehaald. Uit de informatie kan in een kennismanagementsysteem kennis worden ontwikkeld, verzameld en verspreid.

Een van de oplossingen uit de kennismanagement voor het kennisprobleem is het ontwikkelen van een expertsysteem. Een expertsysteem bestaat uit een inputsysteem voor de gebruiker om kennis in te voeren, centrale opslagplaats voor de kennis, technieken uit de kunstmatige intelligentie om de kennis te bewerken en een outputsysteem voor de gebruiker.

Een moeilijk maar belangrijk onderdeel van kennisverzameling is het verwerven van kennis, waarbij impliciete kennis van een deskundige expliciet wordt gemaakt. Interviewen en observeren van de deskundige is een manier van kennis verzamelen.

De definitie van kwaliteit, die toegepast wordt in het ConsulBrain model, is de mate waarin het geheel van eigenschappen voldoet aan bepaalde eisen, begrensd door de prijs en tijd die het kost.

Om een kwaliteitsniveau van een kennisintensieve dienstverlening te bereiken en te beheersen is het belangrijk om de werkprocessen, deskundigheid en resultaten van het advies vast te leggen. Door bepaalde vastgelegde resultaten kan een gebruiker de kwaliteit achteraf toetsen aan zijn verwachtingen. Met behulp van de vastgelegde processen kan een gebruiker daarnaast anticiperen op een bepaald kwaliteitsniveau. Ook is een goede communicatie tussen kenniswerkers onderling en met de opdrachtgever, van belang om tot een bepaald kwaliteitsniveau te komen.

Kortom de volgende elementen van kwaliteitsbeheersing zijn gebruikt als bouwstenen voor het ConsulBrain model:

- Vastleggen en beheersen van werkprocessen om te anticiperen op een bepaald kwaliteitsniveau. Dit moet in een vaste structuur gebeuren van input, transformatie en output. Daarnaast is het belangrijk dat de volgorde van processen en afhankelijkheid tussen de processen worden vastgelegd;
- Vastleggen van kennis;
- Vastleggen van resultaten om een meetbare waarde voor kwaliteit te leveren;
- Mogelijkheid tot communicatie met kenniswerkers en opdrachtgever. Met deze belanghebbenden kan dan gecommuniceerd worden over de correlatie van de kwaliteitseigenschappen uitgedrukt in tijd en geld. Met andere woorden, een gebruiker kan aan belanghebbenden met ConsulBrain tonen hoe de verschillende kwaliteitseigenschappen invloed hebben op elkaar. Deze manier van communicatie kan het nemen van bepaalde beslissingen vergemakkelijken.

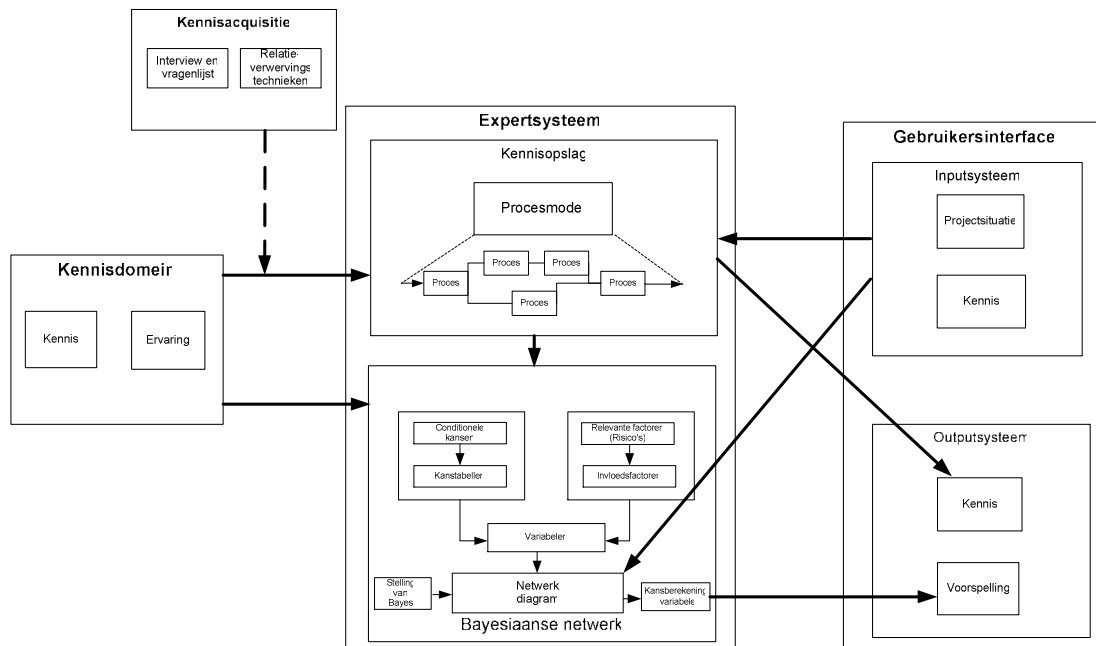
Bij het beheersen van processen is het belangrijk welke processen bepalend zijn voor het succes of falen van een bepaald systeem. Daarom is het belangrijk om risicoanalyse uit te voeren om te bepalen welke processen kritisch zijn. De uitkomsten van een analyse kunnen worden gebruikt om bepaalde keuzes te maken.

Bij de sleufloze aanleg van leidingen met behulp van boortechieken speelt de grond een belangrijke rol. Dit geldt zowel voor het ontwerp als voor de uitvoering. Over het boortrace moet een goed beeld worden verkregen van het verloop van de grondlagen waar doorheen geboord wordt. Ook dient betrouwbare informatie aanwezig te zijn van grondwaterstanden en stijghoogte.

Uit een risicoanalyse van het adviesproject voor horizontaal gestuurde boringen (HDD) is voortgekomen dat de volgende gebeurtenissen de grootste risico's bevatten:

- Onvoldoende geotechnisch onderzoek;
- Onvoldoende geohydrologisch onderzoek;
- Onvoldoende kwaliteit van de adviseur.

De structuur van een generieke ConsulBrain model is dus gebaseerd op GeoBrain elementen, structuur van een expertsysteem, opvattingen uit de kennismanagement en kwaliteitsbeheersing van kennisintensieve dienstverlening. Het resultaat hiervan is in figuur S1 afgebeeld.



Figuur S1: generiek ConsulBrain model

Bij de specifieke toepassing van ConsulBrain op HDD consultancy, zijn de adviesprocessen gestructureerd vastgelegd. Daarnaast is voor het grootste risico voor een adviseur in een HDD-advies, *onvoldoende onderzoek voor HDD-advies*, een kwalitatieve en kwantitatieve Bayesiaanse netwerk opgesteld.

ConsulBrain is een manier om kennis vast te leggen in processen en deze zo te structureren dat een adviseur met een procesmodel tot de juiste advieskeuzes kan komen. Daarnaast geeft het model ook de mogelijkheid voor ondersteuning van beslissingen. Een Bayesiaanse netwerk geeft namelijk een voorspellende kansverdeling over een bepaalde risico. Deze informatie kan een adviseur ook gebruiken om gerichte maatregelen te nemen.

Om de ConsulBrain toepassing op HDD consultancy in de praktijk te gebruiken, moet het een en ander nog wel doorontwikkeld worden. De processen moeten volgordeijk worden vastgelegd en het procesmodel moet daarna gevalideerd worden met de praktijk. De Bayesiaanse netwerken in dit onderzoek zijn een eerste opstap tot ontwikkeling van een beslissingondersteunende methode. De causale relaties moeten hierbij verder worden geëvalueerd. Verder moeten de conditionele en initiële kanstabellen worden opgesteld en gevalideerd met de praktijk.

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Samenvatting	4
Inhoudsopgave	7
1 Inleiding.....	9
1.1 Aanleiding.....	9
1.2 Probleemverkenning	10
1.2.1 Probleemstelling: kennisprobleem leidt tot een kwaliteitsprobleem	10
1.2.2 Doel- en vraagstelling.....	11
1.2.3 Afbakening en uitgangspunten: programma van eisen ConsulBrain	12
1.3 Indeling onderzoeksrapport.....	13
2 GeoBrain	15
2.1 Het integraal gebruik van kennis	15
2.2 Toepassingen: GeoBrain “Funderingstechnieken”	19
2.2.1 GeoBrain “Funderingstechnieken”	19
2.2.2 Bayesiaanse netwerken	20
2.2.3 Voor - en nadelen Bayesiaanse netwerken	28
2.3 Conclusie: Onderdelen voor ConsulBrain	30
3 Expertsystemen.....	32
3.1 Kennisprobleem.....	32
3.1.1 Kennismanagement in kennisintensieve dienstverlening.....	32
3.1.2 Oplossing kennisprobleem: kennismanagement	35
3.1.3 Rol van expertsysteem	38
3.2 Expertsysteem.....	40
3.2.1 Onderdelen van een expertsysteem	40
3.2.2 Ontwikkeling expertsysteem.....	41
3.2.3 Gebruik expertsysteem	42
3.3 Kennisacquisitie	43
3.4 Generiek model expertsysteem ConsulBrain	45
4 Kwaliteit.....	48
4.1 Karakteristieke kwaliteitszorg	48
4.1.1 Kwaliteit in de kennisintensieve dienstverlening	48
4.1.2 Typologie kwaliteit per soort werk	50
4.2 Begrippen en opvattingen over kwaliteit	53
4.3 Kwaliteitsbeheersing	58
4.4 Procesmanagement	61
4.4.1 Waarom procesmanagement?	61
4.4.2 Processen en procesmanagement.....	63
4.4.3 Vastlegging processen	67
4.4.4 Beheersen van processen.....	69
4.5 Kwaliteitsmodellen	70
4.5.1 GeoQ model (Geosfeer, 2004).....	70
4.5.2 Six Sigma model.....	71
4.5.3 Kwaliteitskostenmodel	72
4.6 Kwaliteit in ConsulBrain.....	75

5	Horizontaal gestuurde boringen (HDD)	77
5.1	Horizontaal gestuurde boring	77
5.2	Geotechnisch advies met betrekking tot HDD	80
5.1.1	Grondonderzoek.....	82
5.1.2	Grondmechanische parameters ten behoeve van het ontwerp	83
6	ConsulBrain model toegepast op HDD	86
6.1	Structuur model ConsulBrain	86
6.2	Procesmodel voor HDD advies	88
6.2.1	Uitvoeren van geotechnisch onderzoek	88
6.2.2	Advisering van boorvloeiستofdrukken.....	90
6.2.3	Bepalen trekkrachten	92
6.2.4	Advisering rond kwelproblematiek.....	93
6.2.5	Controleberekening sterkte leidingen.....	95
6.3	Bayesiaanse netwerken	97
6.3.1	Kwalitatieve gedeelte BN “onvoldoende onderzoek voor HDD advies”	97
6.3.2	Kwantitatieve gedeelte BN “onvoldoende onderzoek voor HDD advies”	100
7	Evaluatie ConsulBrain model	103
7.1	Toetsing ConsulBrain op PvE	103
7.2	Sterke punten	106
7.3	Zwakke punten	108
8	Conclusie en aanbevelingen	109
8.1	Conclusies	109
8.2	Aanbevelingen.....	110
	Literatuurlijst	111
	Bijlage 1 Bayesiaanse netwerk GeoBrain Funderingstechniek	114
	Bijlage 2 Neurale netwerken GeoBrain “Dijken zuidwest Nederland”	118
	Bijlage 3 Foto’s HDD	120
	Bijlage 4 Risicoanalyse HDD-consultancy	123
	Bijlage 5 Kanstabellen BN “Onvoldoende onderzoek HDD advies”	125

1 Inleiding

Dit hoofdstuk vormt de basis van het onderzoek. Allereerst zal de aanleiding tot het doen van dit onderzoek worden geschetst, waarin de verschillende problemen worden beschreven. Daarna worden de problemen verder verkend aan de hand van een opgestelde probleem - en doelstelling met bijbehorende onderzoeksvragen. Aan de hand van een programma van eisen wordt het onderzoek afgebakend, waarna ten slotte de verdere opzet van het onderzoek zal worden behandeld.

1.1 Aanleiding

Kennis vormt steeds meer een belangrijk onderdeel van geleverde producten en diensten. In de huidige kennismaatschappij is kennis zelfs de belangrijkste productiefactor en neemt het aantal kennisintensieve ondernemingen steeds meer toe. Een kennisintensieve organisatie wordt beschreven als een organisatie waar de kern wordt gevormd door professionals, die met behulp van bestaande kennis, kennis ontwikkelen, vastleggen, toepassen en verkopen ten behoeve van zichzelf en van interne of externe klanten (Weggeman, 1995). In kennisintensieve organisaties is het cruciaal om op een effectieve wijze gebruik maken van de aanwezige kennis voor de uitvoering van veel processen en activiteiten. De kwaliteit wat de professionals leveren, wordt namelijk vooral bepaald door de wijze waarop zij gebruik maken van ideeën, begrippen, modellen en informatie.

Een probleem binnen kennisintensieve organisaties is dat kennis verdeeld aanwezig en vaak moeilijk bereikbaar en toegankelijk is. Dit maakt dat kennis niet alleen ontoegankelijk is voor anderen maar ook kwetsbaar. Bij ziekte of vertrek van een professional kan belangrijke kennis namelijk verdwijnen. Het weer op peil brengen van deze kennis is daarna kostbaar en tijdrovend. Aanwezige, maar niet traceerbare kennis, kan ook als verloren worden beschouwd. Daarbij zijn kenniswerkers maar op één plek tegelijk inzetbaar. Indien het niet mogelijk is gemaakt dat ook anderen toegang hebben tot deze kennis, wordt deze beschikbare kennis niet maximaal gebruikt. Een ander probleem is dat vastgelegde kennis vaak ook slecht toegankelijk, verspreid, ongestructureerd en niet digitaal beschikbaar is.

Al deze beschreven problemen wordt binnen de literatuur over kennismangement aangeduid als het *kennisprobleem*. Dit probleem heeft als gevolg dat kennis niet optimaal wordt gebruikt, waardoor het uiteindelijk een negatieve invloed heeft op de kwaliteit van de te leveren dienstverlening. Professionele organisaties zijn bewust bezig de kwaliteit van hun dienstverlening te beheersen. Volgens Maas (1995) is de tijd namelijk voorbij dat een bepaald imago van een professional genoeg was om de kwaliteit van zijn dienstverlening aan te tonen.

Het onderzoek in dit rapport richt zich in eerste instantie op het bedrijf GeoDelft, waar kennis een zeer belangrijke rol speelt. GeoDelft is namelijk het nationale advies - en kenniscentrum op het gebied van de geotechniek. Het bedrijf heeft als doel om kennis van haar kerncompetenties (geotechniek, funderingstechniek en geo-ecologie) te ontwikkelen, die actoren in de bouwsector nodig hebben, om het financiële en maatschappelijk rendement van investeringen in de fysieke infrastructuur van delta's te kunnen verbeteren (Strategisch plan GeoDelft, 2001 - 2004). GeoDelft vervult als "Groot Technologisch Instituut" (GTI) hierbij vier hoofdrollen:

- Kennisverspreider;
- Adviseur;
- Onafhankelijk deskundige;
- Uitvoerder en facilitator van R&D.

Voor veel partijen in de markt is de geotechniek een weinig bekend vakgebied en vindt men het moeilijk geotechnische expertise op een vanzelfsprekende manier in het ontwerp - en bouwproces mee te nemen. Om dit probleem te verhelpen, vervult GeoDelft de taak om de kloof tussen geotechnische kennis en marktpartijen te verkleinen door geotechnische kennis toegankelijk beschikbaar te stellen voor de markt. Hiervoor werkt GeoDelft aan een concept

genaamd GeoBrain, waarmee dus wordt getracht een bijdrage te leveren voor het oplossen van het geotechnische *kennisprobleem* binnen de bouwsector. GeoBrain is een expertsystematiek, dat als doel heeft om voor kwaliteitsbeheersing van externe projecten te zorgen door alle relevante geotechnische kennis en ervaring op overzichtelijke en compacte wijze beschikbaar te maken voor de actoren in de bouwsector. Daarbij wordt de essentiële kennis toegankelijk, helder en op het juiste moment gepresenteerd aan de beslissende persoon. Op basis van de beschikbare kennis en ervaring wordt hiermee op een objectieve manier tot keuzes gekomen, waarbij rekening wordt gehouden met de gevolgen daarvan (Geosfeer, 2004).

Binnen GeoDelft vraagt zich men af of een toepassing van GeoBrain op interne projecten een oplossing kan zijn voor het kennisprobleem van hun eigen organisatie. Een mogelijke oplossing zou ook een bijdrage kunnen leveren voor de beheersing van de kwaliteit van het adviesproduct. Vanuit de specifieke rol als GTI streeft GeoDelft namelijk naar een kwalitatief hoogwaardig adviesproduct, waarbij ook nog van belang is dat dit product adviseur onafhankelijk is.

Concreet neemt het *kennisprobleem* binnen GeoDelft de volgende vormen aan:

- Ervaring en kennis van uit dienst tredende adviseurs kan eenvoudig wegvloeien. Binnen een project over “horizontaal gestuurde boringen” (HDD-projecten) is bijvoorbeeld maar één zeer ervaren expert aanwezig binnen de organisatie. Bij afwezigheid van deze expert kunnen er problemen voorkomen bij minder ervaren adviseurs, die een HDD adviesproduct uitvoeren;
- Onervaren adviseurs kunnen kwetsbaar zijn bij projecten. Door hun specifieke opleidingsachtergrond kan het mogelijk zijn dat ze weinig tot geen kennis beschikken over een bepaald onderwerp;
- Binnen GeoDelft is veel specialistische kennis aanwezig door uitvoeren van niet routinematige projecten. Deze kennis is onoverzichtelijk verspreid en geborgen binnen de organisatie. Hierdoor is het mogelijk dat kennis niet efficiënt en effectief wordt gebruikt;
- Adviseurs handelen, door hun eigen ervaring en kennis, veelal intuïtief. Hierdoor is de kans groot dat er een subjectieve advies wordt geleverd. Dit staat haaks tegenover de doelstelling van GeoDelft om adviseur onafhankelijk advies te leveren.

1.2 Probleemverkenning

Nadat de aanleiding voor dit onderzoek is geschetst, wordt nu het probleem verder verkend door een probleemstelling en een centrale doelstelling op te stellen. Om deze doelstelling te halen wordt vervolgens bijbehorende onderzoeksvragen beschreven. Tenslotte wordt het onderzoek afgebakend en de uitgangspunten duidelijk gemaakt in een programma van eisen voor het te ontwikkelen toepassing van GeoBrain; *ConsulBrain*.

1.2.1 Probleemstelling: kennisprobleem leidt tot een kwaliteitsprobleem

Als kennisintensieve dienstverlener is GeoDelft afhankelijk van zijn kennis bij het leveren van een adviesproduct. Hier is ook sprake van het algemene *kennisprobleem*, waarin kennis over de organisatie verdeeld kwetsbaar aanwezig is en zelfs moeilijk bereikbaar en toegankelijk is. Dit kan ten nadele gaan van de *kwaliteit* van de te leveren consultancy.

Kwaliteit speelt binnen GeoDelft een grote rol. De mate van kwaliteit van een adviesproduct geeft namelijk de waarde aan van het Groot Technologisch Instituut GeoDelft. Om deze waarde te waarborgen moet GeoDelft kwaliteit garanderen en streven naar een bepaald niveau van adviseuronafhankelijkheid.

In de aanleiding is beschreven dat GeoDelft aan het concept van GeoBrain werkt. Met het GeoBrain - concept wordt gestreefd naar kwaliteitsverbetering van externe projecten in de bouwsector. Met het concept kunnen adviseurs een grondige en objectieve onderbouwing

geven van de genomen beslissing. De invloed van de subjectiviteit van individuele experts wordt daarmee verkleind.

GeoDelft gebruikt de mogelijkheden van GeoBrain voor kwaliteitsverbetering van het advies momenteel dus alleen voor externe projecten maar echter niet voor de eigen adviesprojecten. Deze projecten worden voornamelijk beheerst door het vakmanschap van adviseurs en experts binnen GeoDelft. Om te zorgen dat GeoDelft kwaliteit blijft garanderen en het geleverde advies *adviseur onafhankelijk* is, wordt door GeoDelft voorgesteld de mogelijkheden te onderzoeken om het GeoBrain - concept toe te passen op de eigen adviesprojecten.

Om kwaliteit structureel te beheersen en het kennisprobleem aan te pakken, wordt in dit onderzoek een model opgezet op basis van *GeoBrain*.

1.2.2 Doel- en vraagstelling

Doelstelling

Het doel van het onderzoek is kwaliteitsbeheersing van consultancy, door het ontwikkelen van een expertsysteem op basis van het GeoBrain - concept. Dit wordt specifiek uitgevoerd voor adviesprojecten van GeoDelft over horizontaal gestuurde boringen (HDD), waarmee procesmatig een advies kan worden uitgevoerd, evenals de gevolgen van de belangrijkste gebeurtenissen op de kwaliteit van het advies kunnen worden geschat.

Vraagstelling

Om de doelstelling van dit onderzoek te verwezenlijken zijn de volgende hoofdvragen met behorende deelvragen opgesteld.

1. Wat is GeoBrain?
 - a. Wat houdt het GeoBrain - concept in?
 - b. Welke toepassing van GeoBrain is in de praktijk uitgevoerd?
 - c. Welke onderdelen kunnen worden gebruikt voor het ConsulBrain model?
2. Wat is een expertsysteem?
 - a. Wat is een expertsysteem?
 - b. Hoe is een expertsysteem opgebouwd?
 - c. Wat is de vorm van het generieke model van een expertsysteem, dat gebaseerd is op het GeoBrain - concept?
3. Hoe wordt kwaliteit beheerst?
 - a. Welke opvattingen en begrippen bestaan er over kwaliteit?
 - b. Hoe wordt kwaliteit beheerst?
 - c. Wat zijn de overeenkomsten en verschillen tussen kwaliteitsbeheersing in de productindustrie en kwaliteitsbeheersing in de dienstverlening?
 - d. Welke kwaliteitsmodellen zijn er?
4. Wat zijn horizontaal gestuurde boringen (HDD)?
 - a. Welke kennis wordt gebruikt voor een adviesproduct over horizontaal gestuurde boringen?
 - b. Welke risico's zijn er binnen een adviesproject, hoe groot zijn die risico's en wat is een kwalitatieve rangschikking van deze risico's?
 - c. Welke parameters hebben invloed op de risico's van een adviesproject?
5. Wat is de vorm van het ConsulBrain model, zodat voor een gegeven adviesproject over horizontaal gestuurde boringen bepaald kan worden welke processen uitgevoerd moeten worden evenals de effecten van de gebeurtenissen / onzekerheden op de kwaliteit van het advies?

6. Leidt het ConsulBrain model tot kwaliteitsbeheersing van consultancy in het algemeen en voor consultancy van horizontaal gestuurde boringen specifiek?
 - a. Wat zijn de sterke punten van het model?
 - b. Wat zijn de zwakke punten van het model?

1.2.3 Afbakening en uitgangspunten: programma van eisen ConsulBrain

Het Programma van Eisen (PvE) is een gestructureerde lijst met eisen waaraan het ConsulBrain model moet voldoen. Het PvE kan gebruikt worden om tijdens het ontwerpproces op een zo objectief mogelijke manier de goede oplossingen van de slechte te onderscheiden. In hoofdstuk 7 wordt het model aan de hand van dit PvE geëvalueerd.

Het bestaat uit (Veenvliet, 1999):

- Functionele eisen;
- Operationele eisen;
- Randvoorwaarden;
- Uitgangspunten.

Het programma van eisen (PvE) van het te ontwikkelen ConsulBrain model bestaat uit de volgende punten:

- Eisen en wensen van GeoDelft;
- Kenmerkende aspecten van GeoBrain (Hoofdstuk 2);
- Functionele eisen voor het opstellen van expertsystemen (Hoofdstuk 3);
- Aspecten uit de literatuur over kwaliteitbeheersing (Hoofdstuk 4).

Functionele eisen, gebaseerd op de eisen die in verband met de verwachte functies van het model moeten worden gesteld;

- Het systeem moet (HDD) kennis kunnen borgen, ter voorkoming van het wegvloeien van kennis door bijvoorbeeld ontslag of pensionering van adviseurs;
- Het systeem moet toekomstige (HDD) kennis eenvoudig kunnen inpassen;
- Het systeem moet voor adviseurs van GeoDelft een kennisbron zijn;
- Het systeem moet een inschatting kunnen maken van het projectresultaat;
- Het systeem moet beslissingondersteunend werken met betrekking tot uit te voeren activiteiten voor een adviesresultaat;
- Het systeem moet beslissingondersteunend werken met betrekking tot het aantonen van de effectiviteit van te nemen maatregelen;
- De invoer voor het systeem zijn de gegevens van een opdrachtgever over een (HDD) probleem;

Operationele eisen, bedoeld om optimale zekerheid te krijgen ten aanzien van het functioneren van het model;

- Het systeem moet gebruiksvriendelijk en eenvoudig zijn voor gebruikers;
- Alle werknemers van GeoDelft moeten toegang hebben op het systeem;
- Het systeem moet het gebruik ervan stimuleren;

Randvoorwaarden: onveranderlijke eisen gezien vanuit het onderzoek, die door de omgeving van het onderzoek worden opgelegd.

- De vormgeving van het systeem moet overeenkomen met bestaande GeoBrain systemen;
- Het systeem moet gebruik maken van instrumenten en technieken uit GeoBrain;
- Er moet draagvlak onder de gebruikers zijn of worden gecreëerd;
- Het systeem moet geëvalueerd worden aan de hand van aantal testcases;
- Het systeem moet een generieke structuur hebben en specifiek worden toegepast.

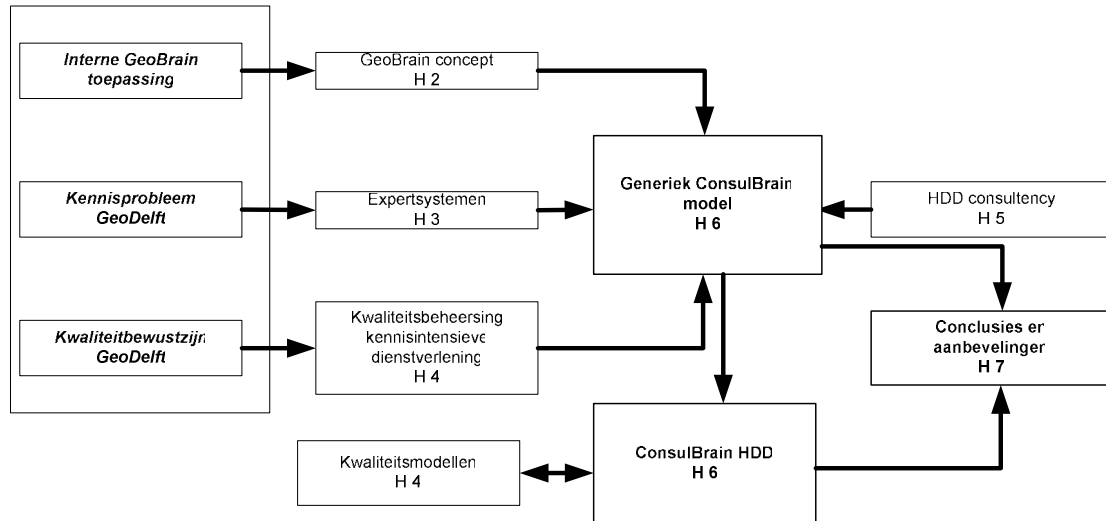
Uitgangspunten: veranderlijke eisen, die door GeoDelft worden opgelegd.

- Het systeem is bedoeld voor adviseurs van GeoDelft, vooral voor jonge en/of onervaren adviseurs;

- Kennis in het systeem komt uit experts en literatuur;
- Experts leveren kennis uit ervaring en bestaat uit advieslogica en het schatten van onzekerheden.

1.3 Indeling onderzoeksrapport

Aan de hand van onderstaande onderzoeksmodel (figuur 1.1) wordt de indeling van het rapport beschreven. Ook worden de verhoudingen tussen de verschillende onderdelen in de behorende hoofdstukken binnen het onderzoek in dit model beschreven.



Figuur 1.1: onderzoeksmodel

In het onderzoeksmodel wordt nog een keer beschreven wat de aanleiding van dit onderzoek is:

- Ontbreken van interne GeoBrain toepassing;
- Het aanwezige kennisprobleem binnen GeoDelft;
- De sterke kwaliteitsbewustzijn binnen GeoDelft.

In hoofdstuk twee wordt het GeoBrain concept verder uitgelegd. Een literatuurstudie over respectievelijk expertsystemen en kwaliteitsbeheersing van kennisintensieve dienstverlening wordt in de hoofdstukken drie en vier beschreven. De conclusies van deze hoofdstukken leiden tot een structuur voor een generieke ConsulBrain model. Om dit model toe te passen voor HDD consultancy, wordt de aanwezige kennis bij adviseurs van GeoDelft verzameld en vastgelegd. De expliciete kennis wordt verkregen door bestudering van normen en handleidingen. De impliciete kennis, in de hoofden van de verschillende adviseurs, wordt verzameld aan de hand van interviews.

Het resultaat van de toepassing van het generieke model is een specifiek expertsysteem voor advisering van horizontaal gestuurde boringen (HDD).

Het model zal twee functies hebben:

- Het herbergen van kennis over horizontaal gestuurde boringen;
- Het ondersteunen van beslissingen die een adviseur maakt in een adviesproject over horizontaal gestuurde boringen.

Bij een specifiek adviesproject over HDD kan een adviseur van GeoDelft het model gebruiken om op gestructureerde manier de kennis op te zoeken die hij nodig heeft voor zijn project. Daarnaast zal hij door het invoeren van aantal project specifieke gegevens in het model een inschatting kunnen krijgen welke effecten bepaalde beslissingen hebben op de grootste onzekerheden van zijn adviesproject. De mate van onzekerheid zal een inschatting zijn van de kwaliteit van het advies die een opdrachtgever kan verwachten. Met deze inschatting kan een adviseur van GeoDelft vervolgens met een opdrachtgever overleggen over welke maatregelen er genomen kunnen worden om de kwaliteit van het advies te verhogen. Een voorbeeld van een maatregel is het plegen van extra onderzoek. Deze maatregel kan in het model worden ingevoerd, waarna het geschatte (verbeterde) gevolg op de kwaliteit van het advies wordt weergegeven.

2 GeoBrain

In dit hoofdstuk wordt uitgelegd wat GeoBrain nu precies inhoudt. Hiervoor wordt eerst de achtergrond van GeoBrain behandeld, waarna een definitie van het concept volgt. Deze omschrijving zal in het vervolg van dit onderzoek centraal staan. Vervolgens wordt een toepassing behandeld, dat in de praktijk door GeoDelft wordt uitgevoerd. Daarna wordt beschreven welke raakpunten er zijn in de bestaande literatuur. Dit hoofdstuk concludeert tenslotte hoe GeoBrain gebruikt wordt in dit onderzoek.

2.1 Het integraal gebruik van kennis

Als antwoord op de nota van de ministeries van EZ, VROM en V&W, "Perspectief voor de bouw" (2001), heeft GeoDelft het concept GeoBrain ontwikkeld. Met dit concept probeert GeoDelft de verdergaande samenwerking in de bouwsector te stimuleren. Verbeterde integratie wordt namelijk in de nota beschreven als een mogelijke oplossing voor de huidige problemen in de bouwsector. In deze sector hebben bestuurders en projectmanagers onder andere steeds meer behoefte aan een heldere en begrijpelijke presentatie van antwoorden op specifieke technische vraagstukken. De beslissingen van experts dienen hierbij onderbouwd en geobjectiveerd te zijn.

De huidige wijze waarmee bij het ontwerp, de bouw en het beheer van de infrastructuur met kennis wordt omgegaan, kent een grote mate van versnippering. De opgedane kennis en ervaringen blijken sterk persoon - en projectgebonden te zijn en van een brede mate van kennisverspreiding is nauwelijks sprake van. Hierdoor kunnen beslissingen van deskundigen bij technische vraagstukken sterk subjectief zijn. Daarnaast kost de ontwikkeling tot een specialisatie meer tijd door de toegenomen complexiteit van een bepaald kennisgebied.

In een artikel van Hemmen (2006) wordt een voorbeeld beschreven, waarin duidelijk wordt gemaakt wat de gevolgen kunnen zijn van beperkte kennisintegratie in een funderingsproject. Bij deze projecten gaat het regelmatig mis, omdat een ontwerper vaak geen rekening houdt met de uitvoerbaarheid.

Stel dat een ontwerper een opdracht krijgt om een damwand te dimensioneren voor een ondiepe bouwput. Deze wordt dan vooral ontworpen op basis van geotechnische randvoorwaarden. Door de ondiepe bouwput is er geringe ontgraving nodig om het project te verwezenlijken. De gronddruk tegen de damwand is hierdoor relatief laag, waardoor de ontwerper dunne damwanden dimensioneert. Daarnaast weet de ontwerper dat op de plek van de damwand pas op 15 meter diepte een waterdichte kleilaag ligt. Om een waterdichte constructie te krijgen, geeft de ontwerper ook aan dat de damwanden tot deze diepte moeten worden ingebracht.

De ontwerper heeft geen of weinig kennis van de uitvoering van een damwand en heeft daarmee geen rekening gehouden in zijn ontwerp. De opdrachtgever van de ontwerper is ook vaak niet deskundig genoeg om het ontwerp te toetsen op zijn uitvoerbaarheid. De opdrachtgever stuurt het ontwerp vervolgens door aan de hoofdaannemer, die het neerlegt bij de onderaannemer. Deze heier geeft aan dat het ontwerp niet uitvoerbaar is en geeft bijvoorbeeld aan dat er zwaardere damwandplanken nodig zijn. De heier weet namelijk uit ervaring dat het onmogelijk is om de relatief dunne damwanden zonder beschadigingen tot een diepte van 15 meter in te brengen. De opdrachtgever is met deze maatregel niet blij mee, want zwaardere damwanden betekenen extra kosten. Hier treedt dus al een probleem op tussen de heier en de opdrachtgever.

Dit probleem kon bijvoorbeeld worden verholpen door verbeterde kennisintegratie van de betrokkenen in het project. Als de ontwerper beschikking had van de ervaringskennis van de heier, kon hij een realistischer ontwerp maken. Dit ontwerp zou dan niet alleen gebaseerd zijn op alleen geotechnische gegevens maar ook op kennis met betrekking tot de uitvoering van een damwand.

Een gebrek aan integrale -, objectieve - en begrijpelijke (geotechnische) kennis binnen de bouwsector, heeft ertoe geleid dat GeoDelft in 2002 is gestart met GeoBrain. Dit wordt voornamelijk ontwikkeld in relatie tot het primaire werkgebied van het bedrijf, de geo - engineering. GeoBrain is ondertussen verder geconcretiseerd en toegepast in twee projecten: GeoBrain Funderingstechnieken en GeoBrain Boortechneken. Daarnaast zijn enkele kleine proefprojecten uitgevoerd waarin de bruikbaarheid is getoetst van, voor het vakgebied van de geotechniek, nieuwe technieken zoals Bayesiaanse netwerken en neurale netwerken. In de volgende paragraaf worden deze toepassingen beschreven, waarbij de technieken uit de "Kunstmatige Intelligentie" (KI) kort worden toegelicht.

Daarnaast is GeoDelft ervan overtuigd dat de ontwikkelde kennis met betrekking tot GeoBrain ook generiek bruikbaar kan zijn (Van Tol, 2005). In dit onderzoek zal daarom worden onderzocht of het GeoBrain - concept ook kan worden toegepast op het interne proces van een adviesproduct. Het is de bedoeling dat het onderzoek resulteert tot een zogenaamde "ConsulBrain".

Binnen GeoDelft wordt GeoBrain op verschillende manieren beschreven. Om tot een eenduidige definiëring van het concept te komen, dat vervolgens wordt gebruikt in dit onderzoek, wordt hieronder eerst een opsomming van de beschrijvingen gegeven. Uiteindelijk zal aan de hand van deze beschrijvingen een centrale bruikbare GeoBrain beschrijving worden gedefinieerd.

Het team dat binnen GeoDelft primair verantwoordelijk is voor GeoBrain, omschrijft het concept als volgt (GeoBrain team, 2004):

Door integratie van kennis, ervaring en gegevens bevordert GeoBrain de transparantie in de bouwsector, waardoor de gewenste ontwikkelingen als verticale integratie, benoemen en kwantificeren van risico's, efficiencyverbetering en toepassing van nieuwe technologieën en bouwmethoden in belangrijke mate vergemakkelijkt en mogelijk gemaakt worden.

Uit de beschrijving kunnen een viertal gevolgen van GeoBrain worden gehaald:

- Verticale integratie, door het ontsluiten van kennis uit verschillende fasen van een project;
- Beheersing van projectrisico's, door het benoemen en kwantificeren van risico's;
- Efficiency verbetering, door objectieve besluitvorming, dat dan leidt tot kwaliteitsverbetering;
- Toepassing van nieuwe technologieën en methoden.

Deze onderdelen komen dan ook terug in de onderstaande vier doelstellingen die het team heeft opgesteld voor GeoBrain:

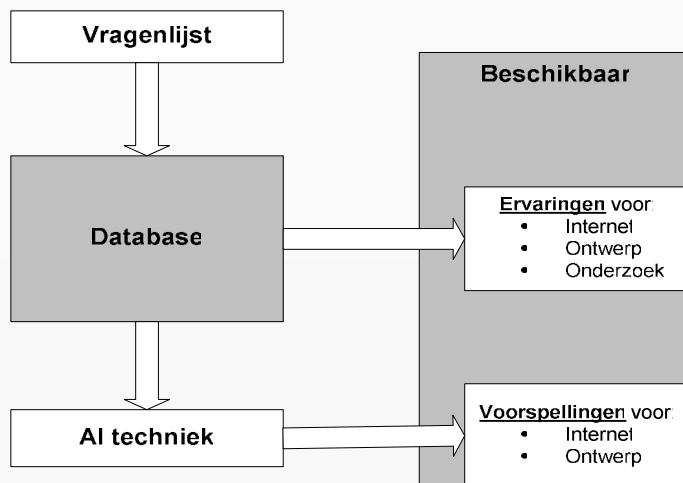
- Beslissingsondersteuning;
In de medische wereld is al veel ervaring opgedaan met het ontsluiten van ervaringsgegevens van experts om gefundeerde ondersteuning te verkrijgen bij het maken van beslissingen. Door dit concept toe te passen binnen GeoBrain, ontstaan er mogelijkheden voor een integrale benadering van complexe situaties waarbij de ondergrond een belangrijke rol speelt voor de projectrisico's. Op basis van alle generiek beschikbare kennis en ervaring, bestaande uit beschikbare meetdata, rekenmodellen, opgedane ervaringen in de praktijk, inzichten van experts en modelproeven, kan nu tot een meer objectieve besluitvorming worden gekomen. Dit voorkomt de kwetsbaarheid van een beslissing, dat wordt bepaald aan de hand van de mening van één of enkele op dat moment beschikbare experts. Het ontsluiten van integrale kennis zal leiden tot een belangrijke kwaliteitsverbetering in de dagelijkse werkpraktijk en een grotere navolgbaarheid van de besluitvorming.
- Calamiteitensystemen;
Beslissingen over noodmaatregelen bij calamiteiten kunnen door de directe en snelle beschikbaarheid van de kennis van vele experts op de daarbij noodzakelijke korte termijn worden genomen. Met GeoBrain kan meteen worden gereageerd op noodsituaties, variërend van de dreigende instorting van een bouwput in een stadscentrum tot hoogwater. Een bijkomend voordeel, zeker in de huidige, groeiende juridische claimcultuur, is dat er achteraf een grondige en objectieve onderbouwing kan worden gegeven van de genomen

beslissing. De invloed van de subjectiviteit van individuele experts wordt nogmaals door het GeoBrain - concept aanzienlijk verkleind.

- Diagnosesystemen;
Met GeoBrain wordt een objectivering van subjectieve expertkennis bereikt door toepassing van technieken uit de kunstmatige intelligentie zoals neurale netwerken en Bayesiaanse netwerken. Deze nieuwe technieken geven een aanzienlijke uitbreiding op de bestaande mogelijkheden om complexe problemen op een juiste wijze te beoordelen.
De laatste tijd blijken bouwprojecten, door aanwezigheid van grote onzekerheden, steeds meer geheel of gedeeltelijk onverzekerbaar te zijn. Door ervaringskennis te bundelen en te ontsluiten, ook voor partijen als expertisebureaus en overheden, kan veel duidelijker worden bepaald welke risico's genomen kunnen worden, of dat bij grote projectrisico's het beter is om het ontwerp gericht aan te passen.
- Visualisatie.
Binnen de civiele sector wordt slechts beperkt gebruik gemaakt van de vele mogelijkheden op het gebied van visualisatie. Visualisatietechnieken worden nu nog voornamelijk gebruikt als presentatiemiddel na afloop, terwijl het een krachtig hulpmiddel kan vormen binnen beslismodellen. Inzichtelijke presentatie van tussentijdse resultaten kunnen namelijk leiden tot verbeterde analyses.
Visualisatie is bij uitstek een aspect van GeoBrain waarbij het toeleveren van de juiste informatie voor de juiste persoon op het juiste moment in de juiste vorm een zeer belangrijke rol speelt. Voor een bestuurder kan dit bijvoorbeeld in de vorm van een consequentiekartaal die in één oogopslag duidelijk maakt waar de keuzemogelijkheden liggen. Voor een inhoudelijke specialist kan dit in de vorm van simulaties waarmee de onderliggende informatie voor een dergelijk kaart en de eventuele beperkingen in de modellering inzichtelijk worden.

Ook in externe publicaties wordt door GeoDelft het concept GeoBrain beschreven. Van Tol (2005) omschrijft GeoBrain in zijn artikel als een generieke modelaanpak, dat voor verschillende problemen toepasbaar is. GeoBrain verzamelt hiervoor verschillende soorten data, die vervolgens worden bewerkt door toepassing van kunstmatige intelligentie (KI). Met technieken als Bayesiaanse netwerken en neurale netwerken kunnen ongelijksoortige gegevens worden gecombineerd. Op deze manier kunnen bijvoorbeeld aan de uitkomst van een bepaalde modelberekening de ervaringsgegevens en expertkennis van projecten in vergelijkbare omstandigheden worden toegevoegd.

Barends (2005) omschrijft in zijn artikel GeoBrain als het vastleggen van verschillende relevante kennis op een duidelijke en gestructureerde manier. Hierdoor wordt het mogelijk om complexe situaties, waar de ondergrond de grootste risico's bevat, integraal te benaderen. In hetzelfde artikel wordt GeoBrain zo afgebeeld (figuur 2.1), dat kennis door middel van vragenlijsten wordt onttrokken en vastgelegd in een database. Deze database wordt in GeoBrain op twee manieren gebruikt. Ten eerste als een bron van ervaringen die direct kan worden gebruikt bij ontwerpen en onderzoek. Ten tweede om kennis uit de database te gebruiken in technieken uit de kunstmatige intelligentie. De resultaten uit deze technieken zijn bepaalde voorspellingen die gebruikt kunnen worden om het ontwerpproces te optimaliseren.



Figuur 2.1: Schematische afbeelding van GeoBrain (Barends, 2005)

Als de GeoBrain beschrijvingen met elkaar worden vergeleken, is het duidelijk dat een centrale beschrijving van GeoBrain de volgende elementen bevat:

- Generieke modelaanpak;
- Het gestructureerd bijeenbrengen en integreren van verschillende soorten kennis, ervaringen en gegevens;
- Benoemen en kwantificeren van projectrisico's;
- Het toepassen van de ontsloten kennis in technieken uit de kunstmatige intelligentie om tot voorspellingen te komen;
- Kwaliteitsverbetering van een expertconsult door een betere navolgbaarheid en snelle ondersteuning van een besluitvorming en een betere beschikbaarheid van verschillende soorten kennisbronnen;

De beschreven elementen leiden tot de volgende centrale omschrijving van GeoBrain, die in dit onderzoek wordt gebruikt:

GeoBrain is een generieke modelaanpak voor het gestructureerd ontsluiten en gebruiken van verschillende soorten kennis. De ontsloten kennis wordt vastgelegd in een database, die kan worden gebruikt als directe ondersteuning bij het maken van beslissingen. Een deel van deze kennis zijn geanalyseerde projectrisico's, die gebruikt worden in KI - technieken om voorspellingen te maken. De vastgelegde kennis in een database en de toegepaste kennis in KI - technieken, zullen leiden tot kwaliteitsverbetering van een expertconsult. Vastgelegde en vervolgens geïntegreerde kennis zal namelijk leiden tot een objectivering van subjectieve expertkennis.

Deze GeoBrain omschrijving resulteert in een aanpak voor het te ontwikkelen ConsulBrain - concept en bestaat dus uit de volgende stappen:

1. Verzamelen en vastleggen van alle beschikbare praktijkervaring, expertkennis en gegevens over een bepaald project in een database;
2. De verschillende vastgelegde kennisbronnen worden toegepast in technieken uit de kunstmatige intelligentie;
3. Aan de hand van gegevens van een bepaald projectplan wordt met behulp van een opgezet model resultaten verkregen. Deze resultaten zijn geschatte voorspellingen van het risicoprofiel voor het specifieke project;
4. De resultaten uit bijvoorbeeld een Bayesiaanse netwerk worden vervolgens aangetoond aan de desbetreffende belanghebbende, waarmee hij een ondersteuning krijgt voor een te nemen beslissing in zijn project.

2.2 Toepassingen: GeoBrain “Funderingstechnieken”

Binnen GeoDelft zijn een aantal toepassingen ontwikkeld om het GeoBrain aanpak verder te concretiseren. In deze paragraaf wordt een toepassing met Bayesiaanse netwerken beschreven. Aan de hand van de beschrijving van GeoBrain “Funderingstechnieken” wordt geconcludeerd welke technieken van de kunstmatige intelligentie worden gebruikt voor ConsulBrain. Binnen GeoDelft is ook al een GeoBrain toepassing uitgevoerd met neurale netwerken. Deze techniek is in tegenstelling tot Bayesiaanse netwerken binnen GeoDelft nog niet zo ver ontwikkeld, waardoor het ook niet hier wordt behandeld. Een korte uitleg van neurale netwerken voor GeoBrain “Dijken Zuid - West Nederland” wordt in bijlage 2 gegeven.

2.2.1 GeoBrain “Funderingstechnieken”

De funderingsbranche kampt met problemen, die ervoor zorgen dat bij funderingsprojecten een hoge faalkans aanwezig is van ongeveer 20%. Deze hoge faalkans kost de funderingsbranche vervolgens 120 miljoen euro per jaar (Hemmen, 2006). Niet alleen de aannemer is verantwoordelijk voor de hoge faalkans. Door gebrek aan kennis van de uitvoerbaarheid bij de ontwerper, zitten er veel fouten al in de ontwerpfase.

Een voorbeeld van problemen bij een funderingsproject:

Bij een project waar heipalen in zandige bodem met kleilagen moeten worden ingebracht, wordt door een ontwerper de benodigde draagkracht van de palen berekend. Dit resulteert uiteindelijk tot een bepaalde dimensionering van een heipaal. Nu is het bekend dat in de ondergrond overgangen van slappe kleilagen aanwezig zijn. Tijdens het aanbrengen van de heipalen kan er nu paalbreuk ontstaan. Bij het doorheien door slappe kleilagen treden er namelijk ontoelaatbare trekspanningen op in een heipaal, waardoor scheuren in de palen ontstaan. De ontwerper heeft bij de dimensionering van de heipalen, geen rekening gehouden met de kennis van het doorheien door overgangen van slappe kleilagen. Het gebrek van kennis met betrekking tot de uitvoerbaarheid leidt dus tot een fout ontwerp en dus een hoge faalkans bij funderingsprojecten.

Uit eerder onderzoek is gebleken dat het verschil tussen de ontwerpfase en de uitvoeringsfase kan worden verkleind door een terugkoppeling van praktijkervaring naar ontwerpers (Hemmen, 2002). *GeoBrain Funderingstechnieken* biedt een mogelijkheid tot een verbeterde integratie tussen de ontwerpfase en uitvoeringsfase. Deze specifieke GeoBrain toepassing zorgt ervoor dat ervaringen uit de praktijk bij de ontwerper worden gebracht. Ook kan op basis van ervaringen uiteindelijk een voorspelling worden gemaakt voor de uitvoerbaarheid van een ontworpen object.

GeoBrain Funderingstechnieken is mede gebaseerd op het onderzoek van Bles (2003), waarin onderzocht is hoe aan de hand van kennis, in vorm van ervaringen en expertise, een voorspelling kan worden gemaakt met behulp van Bayesiaanse netwerken.

Het toepassen van Bayesiaanse netwerken is een manier om de kennis op een bepaald gebied te representeren in een expertsysteem. Dit gebeurt door probabilistische theorie toe te passen. Met Bayesiaanse netwerken is het mogelijk om gezamenlijke kansdichtheidsfuncties toe te kennen aan een set stochastische variabelen. De variabelen worden vervolgens geordend in een netwerk, waarin de onderlinge afhankelijkheden zichtbaar worden. Het onderzoek heeft geresulteerd in een Bayesiaanse netwerk, waarmee een schatting wordt verkregen van de gevolgen van bepaalde ongewenste gebeurtenissen in funderingsprojecten. Hiervoor heeft Bles (2003) eerst de verschillende relaties tussen projectsoort, activiteiten, gebeurtenissen en parameters in een database vastgesteld. Vervolgens is van de belangrijkste gebeurtenissen met behorende parameters een Bayesiaanse netwerk gebouwd, waarmee kwantitatieve schattingen kunnen worden gemaakt voor de gevolgen van de onzekerste gebeurtenis in een project.

2.2.2 Bayesiaanse netwerken

In deze paragraaf wordt kort de achterliggende theorie van Bayesiaanse netwerken uitgelegd. Daarna worden de twee onderdelen van Bayesiaanse netwerken beschreven: het causale netwerk en conditionele netwerk. Een voorbeeld zal het een en ander verduidelijken. De resultaten van GeoBrain Funderingstechnieken worden vervolgens kort beschreven, om uiteindelijk te eindigen met de voor- en nadelen van Bayesiaanse netwerken.

Stelling van Bayes

Centraal in een Bayesiaanse netwerk staat de stelling van Bayes. Deze wordt ook wel omkeerformule genoemd, omdat het de "omgekeerde" voorwaardelijke kans berekent. De stelling van Bayes kan gebruikt worden om *a posteriori kansen* vast te stellen, gegeven de *a-priori kansen* en datgene wat bekend is.

De algemene formulering van deze stelling (Kallenberg, 2003), (Donkers, 1997):

Laat de uitkomstenruimte S opgedeeld zijn in disjuncte deelverzamelingen A_1, A_2, \dots, A_k .

Verder is er nog een gebeurtenis B . Dan is voor iedere i ($1 \leq i \leq k$)

$$P(A_i / B) = \frac{P(A_i \cap B)}{P(B)} = \frac{P(B / A_i)P(A_i)}{P(B / A_i)P(A_i) + \dots + P(B / A_k)P(A_k)} = \frac{P(B / A_i)P(A_i)}{\sum_{k=1}^n P(B / A_k)P(A_k)}$$

Figuur 2.2: stelling van Bayes

De stelling wordt als volgt verwoord:

Kans op een eigenschap A_i , gegeven een verschijnsel $B =$ (Kans op verschijnsel B , gegeven de eigenschap A_i) * (Kans op eigenschap A_i) / (De som over alle eigenschappen van A , (kans op het verschijnsel B , gegeven een eigenschap A_k) * (Kans op een eigenschap A_k).

In de stelling van Bayes zijn drie termen van belang.

- De marginale kans $P(A_i)$. Dit is de losse kans dat een gebeurtenis A_i is opgetreden voordat er ook maar enige gegevens van een verschijnsel bekend is.
- De voorwaardelijke kans $P(A_i / B)$. Dit is de kans dat een gebeurtenis A_i is opgetreden nadat een verschijnsel B bekend is.
- De derde term is de voorwaardelijke kans $P(B / A_i)$. Deze kans beschrijft de conditionele kans van een verschijnsel gegeven een bepaalde eigenschap, dat wordt verkregen uit een expertmening of ervaring.

Met de regel van Bayes kan dus door middel van waarnemingen, gegevens, expertmeningen en ervaring, gekwantificeerd in een marginale kans $P(A_i)$ en een voorwaardelijke kans (a-priori kans) $P(B / A_i)$, de voorwaardelijke kans (a-posteriori kans) op een gebeurtenis $P(A_i / B)$ uitrekenen.

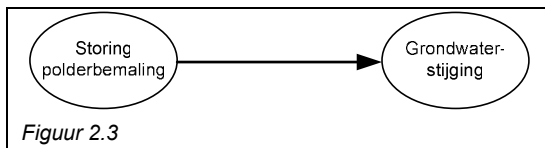
Het causale netwerk

Een Bayesiaanse netwerk bestaat dus uit twee onderdelen (Donkers, 1997):

- *Het kwalitatieve deel* omvat een grafische afbeelding (het netwerk) van de causale relaties tussen de verschillende variabelen. Met behulp van domeinkennis en ervaringen van experts, wordt bepaald wat de relevante factoren zijn voor het gestelde probleem. Deze factoren en hun directe invloeden worden vervolgens in een netwerkdiagram weergegeven.
- *Het kwantitatieve deel* omvat de toewijzing van conditionele kansen aan alle variabelen in zogenaamde kanstabellen van de kansknopen in het Bayesiaanse netwerk. Deze tabellen beschrijven de invloed die voorgaande variabelen hebben op onderliggende variabelen. De gegevens in de tabellen kunnen door experts worden aangegeven of uit literatuur worden afgeleid. De basis van een Bayesiaanse netwerk wordt gevormd door de "stelling van Bayes", waarmee het mogelijk is om kansen van een variabele uit het netwerk te berekenen aan de hand van de gegevens uit het Bayesiaanse netwerk.

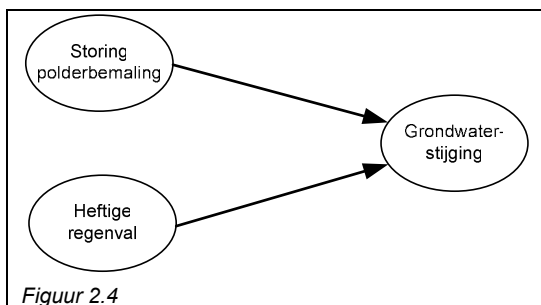
Hieronder worden de elementen van een causaal netwerk beschreven aan de hand van een (vereenvoudigd) voorbeeld over het probleem van waterindringing in een kelder. Een Bayesiaanse netwerk bestaat uit een aantal statistische variabelen, die in het causale netwerk worden weergegeven als knopen. De causale verbanden tussen de knopen worden weergegeven met pijlen. Bepaalde knopen hebben in het netwerk met elkaar een relatie. Een knoop die afhankelijk is van andere knopen wordt een *kind* genoemd. De voorgaande knopen zijn daarbij de *ouders*. Een knoop zonder ouders wordt een *wortel* genoemd en een knoop zonder kinderen een *blad*.

Het gestelde voorbeeld gaat dus over de problematiek van waterindringing in een kelder. Stel dat binnen dat probleem een directe relatie bestaat tussen de storing van een polderbemaling en de stijging van de grondwaterstand. De relatie tussen deze twee variabelen, afgebeeld in knopen en een pijl, ziet er dus als volgt uit:



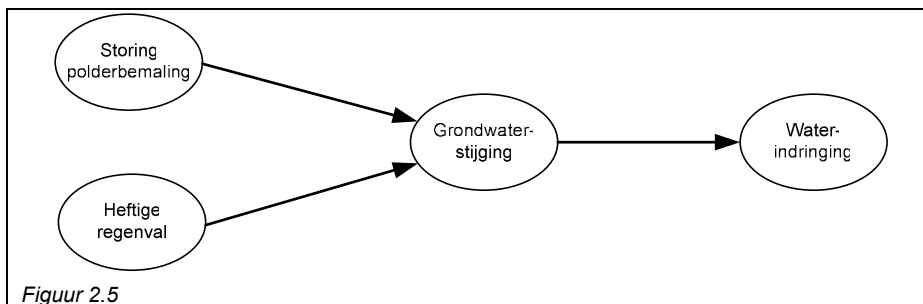
Figuur 2.3

Dat het grondwater stijgt heeft natuurlijk meerdere oorzaken. Heftige regenval in een gebied kan onder andere ook leiden tot grondwaterstijging. De toevoeging van deze variabele in het netwerk, wordt als volgt weergegeven:



Figuur 2.4

Grondwaterstijging kan weer leiden tot indringing van water in een kelder:



Figuur 2.5

Zo kan men een compleet netwerk worden opgebouwd van causale verbanden tussen variabelen, die in het vereenvoudigd voorbeeld leiden tot waterindringing in een kelder.

Donkers (1998) beschrijft de "causale Markov conditie", die aangeeft of het opgestelde model daadwerkelijk bevredigend is:

Voor elke knoop in het opgestelde causale netwerk moet gelden dat, als alle directe oorzaken van een knoop gegeven zijn, een knoop onafhankelijk is van alle andere knopen, behalve van de directe oorzaken en gevolgen.

Het causale netwerk met lokaal gestructureerde subcomponenten is dus een Bayesiaanse netwerk. In de literatuur komen ook andere benamingen voor zoals “belief network”, “probabilistic network” of “knowledge map”. De variabelen in het netwerk worden bijvoorbeeld door experts aangedragen of uit een dataset gehaald. Wanneer bekend is welke variabelen in het model van belang zijn, moeten deze omgezet worden naar statistische variabelen om te kunnen gebruiken in het Bayesiaanse netwerk.

Conditionele kansen

Bij de variabelen in een Bayesiaanse netwerk horen kanstabellen. Deze kanstabellen vormen het kwantitatieve deel van het netwerk. Deze kanstabellen bestaan voor knopen zonder ouders uit de a-priori, initiële kans op een gebeurtenis. Voor knopen met ouders bestaan de kanstabellen uit de conditionele kans van een gebeurtenis. De kansen in de kanstabellen kunnen bepaald worden door statistische gegevens of door expertkennis.

De variabelen worden omgevormd tot statistische variabelen door een indeling te maken in losse waarden, al dan niet numeriek, of in intervallen indien het waardenbereik continu of erg groot is. Dit wordt het discretiseren van de variabelen genoemd. Een groter bereik binnen de intervallen draagt bij aan een snellere berekening en een kleinere nauwkeurigheid.

In het Bayesiaanse netwerk van het behandelde voorbeeld, hebben bijvoorbeeld de knopen “storing polderbemaling” en “heftige regenval” de volgende initiële kansen:

Storing polderbemaling	Kans
Ja	0,1
Nee	0,9

Tabel 2.1

Heftige regenval	Kans
Ja	0,05
Nee	0,95

Tabel 2.2

De knoop “grondwaterstijging” is afhankelijk van zijn ouders “storing poldergemaal” en “heftige regenval”. Aan de hand van expertkennis kan men vervolgens een kans bepalen voor de variabele “grondwaterstijging”. Aan een expert zou men kunnen vragen wat de conditionele kans is voor optredende grondwaterstijging bij een storing en heftige regenval. Het antwoord hierop wordt gekwantificeerd (0,95) en vastgelegd in onderstaande kanstabel 2.3:

Grondwaterstijging	Storing polderbemaling	Heftige regenval	Kans
Ja	Ja	Ja	0,95
Ja	Nee	Ja	0,90
Ja	Nee	Nee	0,02
Ja	Ja	Nee	0,75
Nee	Ja	Ja	0,05
Nee	Nee	Ja	0,10
Nee	Nee	Nee	0,98
Nee	Ja	Nee	0,25

Tabel 2.3

De kans op waterindringing wordt vervolgens ook geconditioneerd door optredende grondwaterstijging (tabel 2,4). Aan een expert zou men nu kunnen vragen wat de conditionele kans is op waterindringing als er geen grondwaterstijging plaatsvindt (antwoord = 0,01).

Waterindringing	Grondwaterstijging	Kans
Ja	Ja	0,95
Ja	Nee	0,01
Nee	Ja	0,05
Nee	Nee	0,99

Tabel 2.4

Bij de knoop “grondwaterstijging” kan men al zien dat de mogelijke combinaties exponentieel stijgt met het aantal mogelijke aanwijzingen. Bij dus drie aanwijzingen moeten er acht verschillende kansen ($2^3 = 8$ combinaties) worden bepaald en ingevoerd. Voor een relatief simpel systeem met bijvoorbeeld twintig aanwijzingen zouden ruim één miljoen kansen moeten worden berekend en ingevoerd.

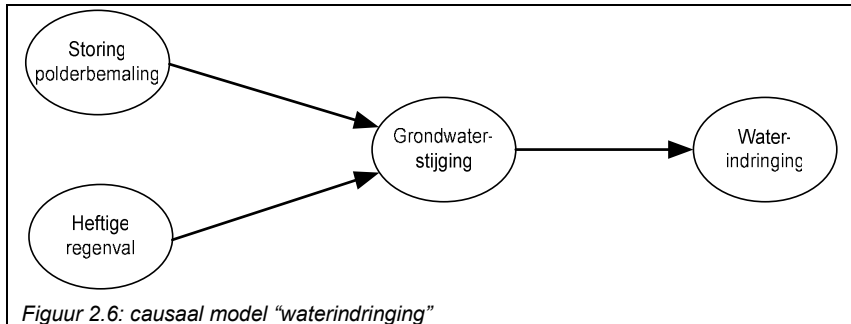
Verder zijn er in een Bayesiaanse netwerk twee soorten aanwijzingen:

- “Hard bewijs” van een knoop, waarvan de waarheidswaarde van die knoop een definitieve waarde krijgt;
- “Zacht bewijs” van een knoop, waarvan met aanwijzingen achteraf kan worden aangepast.

Bayesiaanse netwerk “waterindringing”

De twee gedeeltes van het behandelde voorbeeld worden nu bijeengevoegd. Voor de duidelijkheid wordt de bouwwijze van het Bayesiaanse netwerk kort beschreven.

Eerst wordt een causaal model opgesteld met alle variabelen die invloed hebben op “water indringing”. Stel als de indringing van water alleen mogelijk is als de grondwaterspiegel stijgt. Deze stijging kan het gevolg zijn van heftige regenval. Anderzijds kan ook het uitvallen van de lokale polderbemaling leiden tot een verhoging van de grondwaterspiegel.



Figuur 2.6: causaal model “waterindringing”

Vervolgens geeft het netwerk de kansen aan van de verschillende toestanden van de variabelen in de vorm van conditionele kansen. Ofwel dat de kans bepaald wordt, gegeven een bepaalde toestand van de variabelen “heftige regenval” en “storing polderbemaling”. Ook de variabele “water indringing” is beschreven in termen van conditionele kansen. Aan de hand van gegevens en expertkennis worden de bijbehorende kanstabellen (figuur 2.7) opgesteld.

Storing polderbemaling	Kans	Heftige regenval	Kans
Ja	0,1	Ja	0,05
Nee	0,9	Nee	0,95

Grondwaterstijging	Storing polderbemaling	Heftige regenval	Kans
Ja	Ja	Ja	0,95
Ja	Nee	Ja	0,90
Ja	Nee	Nee	0,02
Ja	Ja	Nee	0,75
Nee	Ja	Ja	0,05
Nee	Nee	Ja	0,10
Nee	Nee	Nee	0,98
Nee	Ja	Nee	0,25

Waterindringing	Grondwaterstijging	Kans
Ja	Ja	0,95
Ja	Nee	0,01
Nee	Ja	0,05
Nee	Nee	0,99

Figuur 2.7: kanstabellen

Als nu bekend is dat er heftige regenval heeft plaatsgevonden, dan kan men deze gebeurtenis als “hard bewijs” in het model worden ingevoerd:

Heftige regenval	Kans
Ja	1,0
Nee	0

Tabel 2.4

Met deze nieuwe informatie kan het model doorrekenen, dat nu de kans 0,86 is dat de kelder in het huis onder water komt te staan.

Resultaten van GeoBrain Funderingstechnieken

Het vastleggen, modelleren en het toepassen van kennis rond de uitvoeringen van funderingen, staan centraal in GeoBrain Funderingstechnieken. Voor deze GeoBrain staan twee aspecten centraal, waarmee de uitvoerbaarheid van ontwerpen kunnen worden getoetst, een ervaringsdatabase en kunstmatige intelligentie in de vorm van Bayesiaanse netwerken.

Database (www.GeoBrain.nl, 2006);

In een database worden verzamelde praktijkervaringen van verschillende projecten geordend en vastgelegd. Per uitvoeringshandeling worden zinvolle ervaringen van de uitvoerders opgeslagen. Deze ervaringen bestaan uit kennis over ongewenste gebeurtenissen en het gevolg hiervan op een project.

Een gebruiker kan aan de hand van de beschikbare informatie voorkomen dat vergelijkbare problemen ontstaan bij zijn eigen projectsituatie.

Voor de volgende uitvoeringsprocessen is momenteel kennis vastgelegd in de database: “damwanden inbrengen”, “damwanden trekken”, “prefab palen inbrengen” en “vibropalen inbrengen”. Vervolgens kan aan de hand van de volgende zes gegevensingangen kennis worden opgevraagd:

1. Algemene informatie over de projectsituatie, waarin de locatie situering en de dimensie van het project worden beschreven;
2. Geotechnische kenmerken van de grond ter plaatse van de uitvoering, dat wordt weergegeven door middel van sondeergrafieken en een model van de grondlaagopbouw;
3. Kenmerken van het funderingssysteem: damwanden, prefab palen of vibropalen;
4. De installatie waarmee het funderingssysteem wordt uitgevoerd;
5. Invloeden van de uitvoering op de omgeving, gegeven door trillingsmetingen en zakkingen van het maaiveld;
6. Ervaringen die opgetreden ongewenste gebeurtenissen beschrijven.

Voorspellingsmodel aan de hand van een Bayesiaanse netwerk.

Met een Bayesiaanse netwerk kan een voorspelling worden gemaakt over de uitvoerbaarheid van een project. Voor de volgende uitvoeringsprocessen kan een voorspelling worden gemaakt van de risico's die een rol spelen: “damwanden inbrengen”, “prefab palen inbrengen” en “vibropalen inbrengen”. Het resultaat van de voorspelling is een inschatting van de ongewenste gebeurtenissen, die tijdens de beschreven uitvoeringsprocessen het meest voorkomen, en gevolgen hebben op het projectresultaat (Bles, 2003):

- “Niet op diepte komen”;
- “Schade aan de plank”;
- “Uit het slot lopen”;
- “Verbranden van sloten”;
- “Schade aan belendingen door trillingen”;
- “Schade aan belendingen door zettingen”.

Van deze risico's worden verschillende Bayesiaanse netwerken opgesteld.

Een risico wordt trouwens gedefinieerd als een ongewenste gebeurtenis die een negatief invloed heeft op de projectdoelstellingen. De waarde van een risico wordt vastgelegd door de kans op een ongewenste gebeurtenis te vermenigvuldigen met de kans op een negatieve gevolg op de projectdoelstellingen (risico = oorzaak x gevolg).

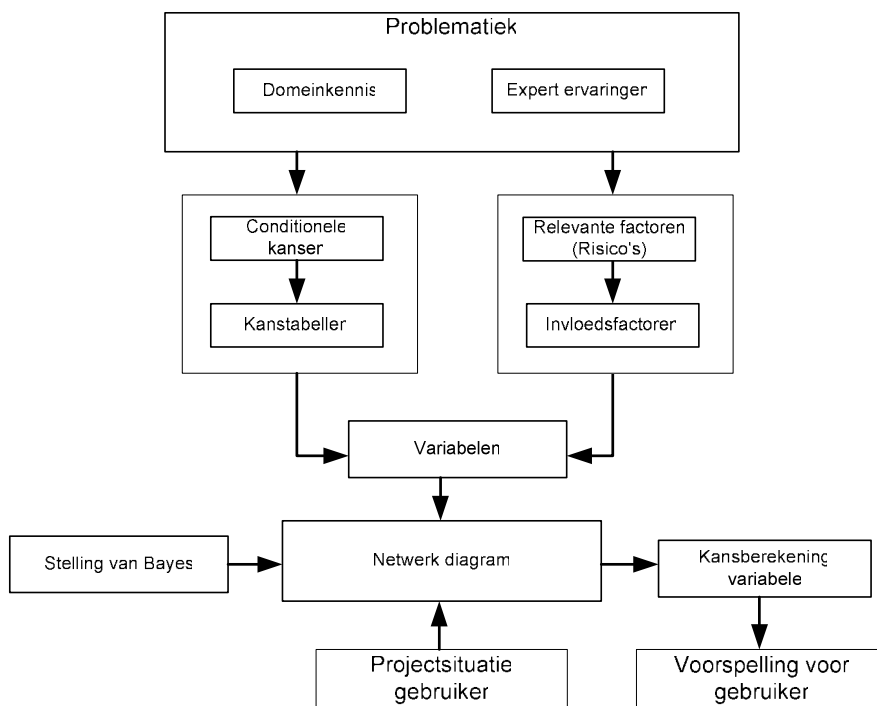
Door onderzoek bij experts, literatuur en uitvoerders zijn de verschillende variabelen die invloed hebben op de risico's vastgelegd in een netwerk. Vervolgens hebben de behorende experts en uitvoerders voor de kansverdelingen gezorgd.

In figuur 2.10 is een Bayesiaanse netwerk afgebeeld met de behorende kanstabellen voor het niet op diepte komen van een funderingspaal. Op basis van de afgebeelde projectgegevens, wordt door het Bayesiaanse netwerk een percentage van 96% bepaald van palen die wel op diepte komen. Dit betekent dus dat 4 % van de palen niet op diepte komen. Met dit gegeven kan een ontwerper, uitvoerder of een opdrachtgever een passende maatregel uitvoeren. Maatregelen zoals overdimensionering van een ontwerp, extra grondonderzoek of ander funderingsmateriaal zullen per definitie extra kosten en projectvertraging opleveren. Een besluitnemer kan nu dus aan de hand van het model, een beste maatregel uit laten voeren. Het is overdreven om hier het hele Bayesiaanse netwerk van deze GeoBrain te beschrijven. Om toch enigszins inzicht te krijgen van deze GeoBrain wordt in de bijlage 1 de opbouw van het netwerk uit figuur beschreven.

Het gebruik van GeoBrain Funderingstechniek biedt de volgende voordelen (www.geobrain.nl, 2006):

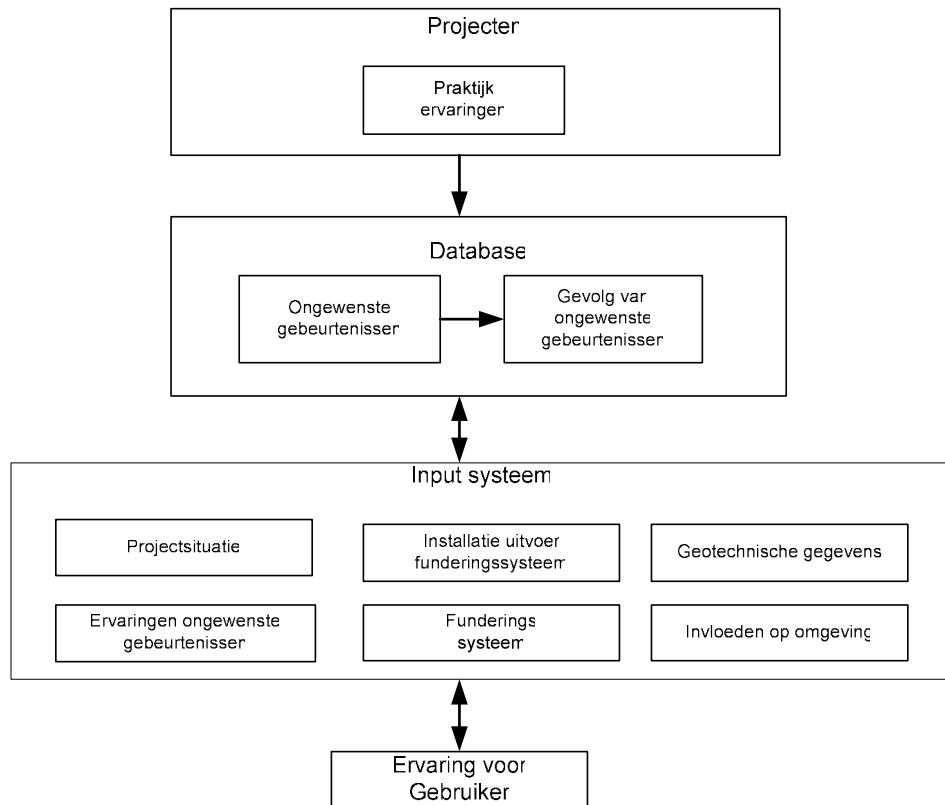
- Een goedkoper ontwerp door de optimale keuze van funderingstype en installatiemateriaal bij een gegeven grondgesteldheid;
- Een scherper ontwerp, minder risico's ten aanzien van de uitvoering;
- Het verkrijgen van betere verhoudingen tussen opdrachtgever en uitvoerder, door een overtuigend bewijs van de mogelijkheden;
- Projecten zijn weer te verzekeren doordat de risico's en de consequenties inzichtelijk worden;
- Een geschikte methode om kennis en ervaring op peil te houden, te bewaren en over te dragen aan nieuwe werknemers.

In figuur 2.8 is de structuur van een Bayesiaanse netwerk in GeoBrain afgebeeld.



Figuur 2.8: structuur Bayesiaanse netwerken GeoBrain

In figuur 2.9 is de structuur van een database in GeoBrain afgebeeld.



Figuur 2.9: Database GeoBrain

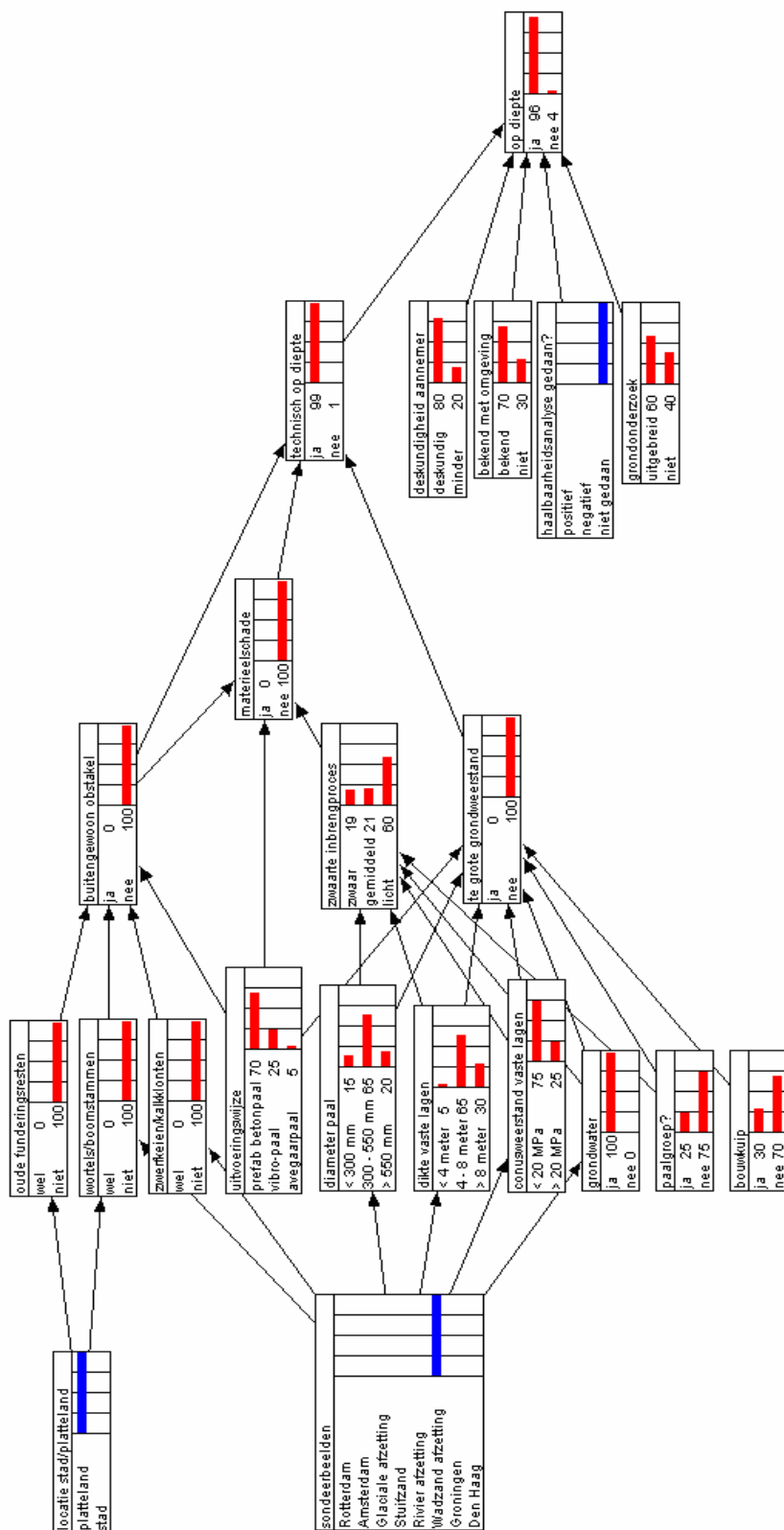
2.2.3 Voor - en nadelen Bayesiaanse netwerken

Voordelen:

- In de literatuur worden Bayesiaanse netwerken beschreven als een geschikt instrument voor het uitvoeren van risicoanalyses en beslissingsondersteunende technieken. (Bles, 2003).
- Een Bayesiaanse netwerk dient ook om alle kennis op een bepaald gebied te representeren, waarbij aandacht wordt geschonken aan de probabilistische afhankelijkheden tussen de verschillende variabelen in het netwerk (Donkers, 1997). Hierdoor omvat een Bayesiaanse netwerk intuïtieve expert meningen en deterministische data.
- De uitkomst van een Bayesiaanse netwerk bestaat uit de kansverdeling over alle variabelen die opgenomen zijn in het netwerk. Ook is het erg eenvoudig om geobserveerde waarden als bewijs in het netwerk te voeren in plaats van een kansverdeling over de waarden van de variabele. Zo kan het netwerk in elke specifieke situatie tot bepaalde doorgerekende resultaten komen. De uitkomst van deze resultaten zal steeds betrouwbaarder worden, naarmate meer omstandigheden bekend zijn die dus als bewijs kunnen worden ingevoerd. Op deze manier zijn Bayesiaanse netwerken erg dynamisch en kan uitkomst bieden in verschillende situaties.
- Voor een Bayesiaanse netwerk is slechts een expertmening al voldoende om een werkend model te krijgen. Daarentegen heeft een neurale netwerk, dat beschreven wordt in bijlage 2, meer data nodig om tot representatieve waarden te komen.
- Volgens Russel e.a. (1995) herbergt een Bayesiaanse netwerk een drietal systemen:
 - Representatief systeem;
 - Beslisondersteunend systeem;
 - Leer systeem.

Nadelen:

- Uiteindelijk zullen neurale netwerken tot betere resultaten komen dan een Bayesiaanse netwerk. De reden hiervoor is dat neurale netwerken leren uit de data die in de praktijk worden verzameld. Een Bayesiaanse netwerk verbetert zich alleen als de kanstabellen worden verbeterd aan de hand van meer data, maar de structuur van het model zal in tegenstelling tot neurale netwerken hetzelfde blijven.
- De conditionele kanstabellen kunnen erg groot worden. Naarmate de variabelen meer toestanden hebben, ontstaan steeds meer unieke combinaties van voorwaardelijke kansen. Ook worden de kanstabellen steeds groter naarmate een variabele meer ouders heeft. Bijvoorbeeld een kanstabel van drie variabelen met ieders twee toestanden heeft $2^3 = 8$ unieke combinaties. Als de drie variabelen drie toestanden hebben, zullen er al $3^3 = 27$ unieke combinaties ontstaan. Meer combinaties betekent vervolgens meer specifieke informatie die nodig is om de kanstabellen in te vullen. De vraag is dan of deze informatie ook beschikbaar is of door experts aangedragen kunnen worden.
- Een Bayesiaanse netwerk is niet geschikt om analytische berekeningen uit te voeren. Dit wordt namelijk veroorzaakt doordat elke variabele opgesplitst wordt in verschillende toestanden van intervallen. Er kan dus niet gerekend worden met een exacte invoer, maar met een waarde in een bepaalde interval.



Figuur 2.10: Bayesiaanse netwerk met kanstabellen voor "op diepte komen" funderingspaal (Bles, 2003)

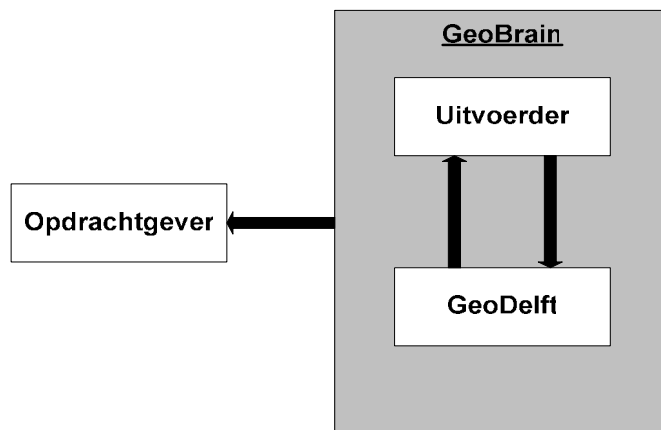
2.3 Conclusie: Onderdelen voor ConsulBrain

Het ConsulBrain model is gebaseerd op het GeoBrain - concept. Op basis van de definitie, doelstelling en systematiek van GeoBrain wordt hieronder een vertaling naar ConsulBrain gemaakt.

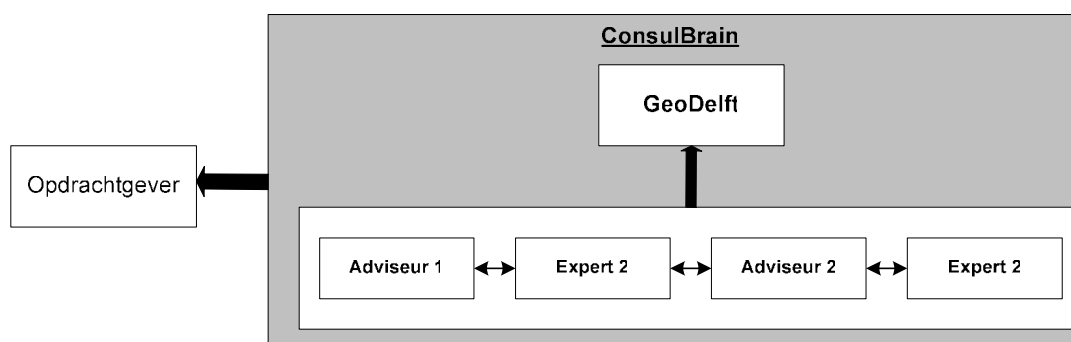
In paragraaf 2.1 wordt een definitie en doelstelling voor GeoBrain gegeven. Voor ConsulBrain betekent dit dat het model een integratie is van kennis, ervaring en gegevens dat als doel heeft:

- Het ontsluiten en gebruiken van kennis van verschillende experts;
- Beheersen van de projectrisico's door deze te benoemen en te kwantificeren;
- Een objectieve besluitvorming dat leidt tot kwaliteitsverbetering;
- Mogelijkheid om nieuwe methoden toe te passen.

Het doel van GeoBrain is om alle kennis en ervaringen van uitvoerders in ontwerpfase te stoppen voor een "uitvoerbaar ontwerp". Het doel van ConsulBrain daarentegen is om alle kennis en ervaringen van adviseurs en experts te borgen en bewerken om tot een "adviesbare offerte" te komen. Dit betekent dat een gebruiker in de offertefase al weet voor kwaliteit advies hij kan leveren.



Figuur 2.11: kennis in GeoBrain



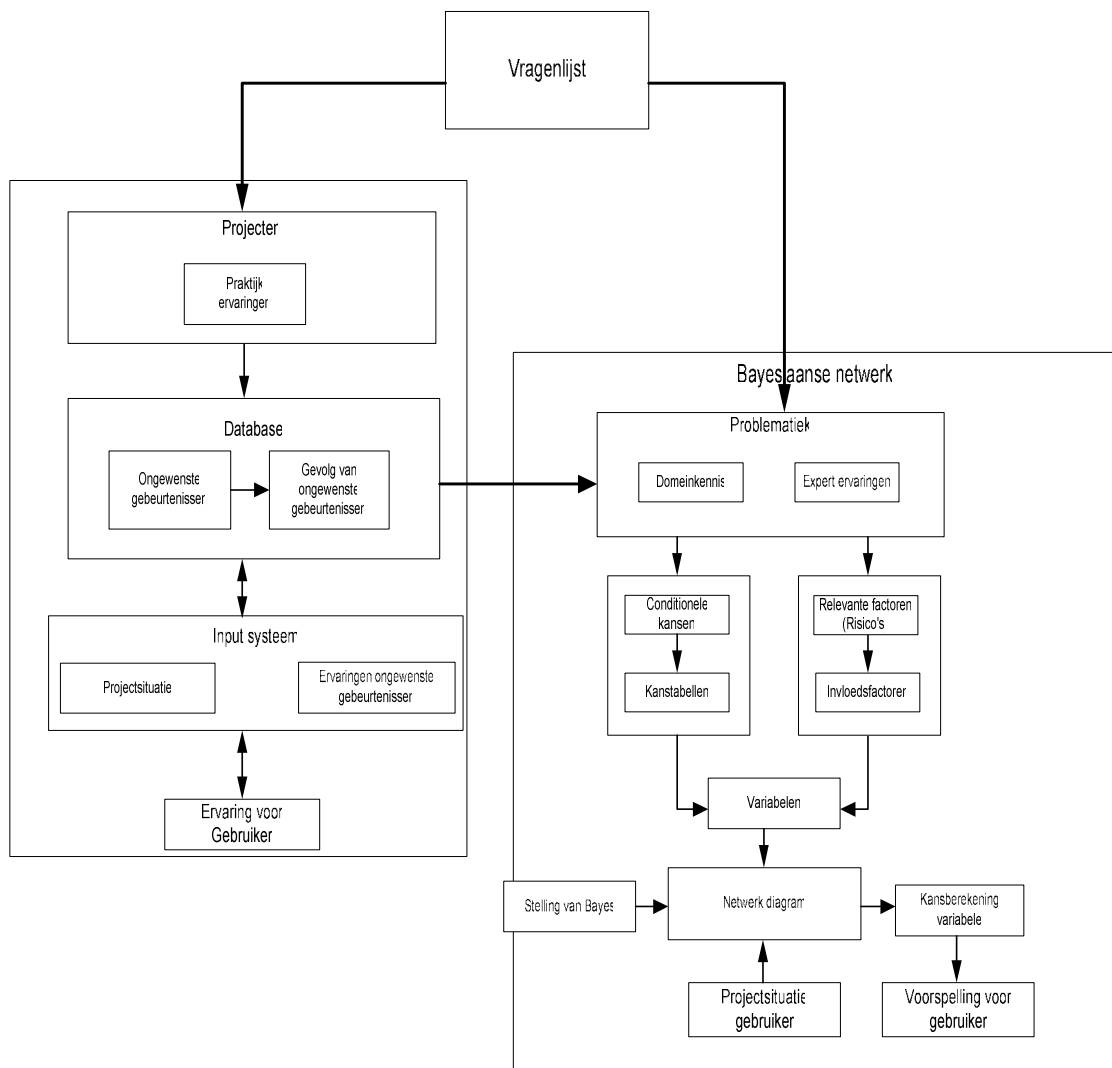
Figuur 2.12: kennis in ConsulBrain

Voor elke knoop in het opgestelde causale netwerk moet gelden dat, als alle directe oorzaken van een knoop gegeven zijn, een knoop onafhankelijk is van alle andere knopen, behalve van de directe oorzaken en gevolgen.

De vertaalde systematiek van GeoBrain voor ConsulBrain:

1. Verzamelen en vastleggen van alle beschikbare praktijkervaring, expertkennis en gegevens over een bepaald project in een database;
2. De verschillende vastgelegde kennisbronnen worden toegepast in Bayesiaanse netwerken. Een Bayesiaanse netwerk is past bevredigend als voor elke knoop geldt dat, als alle directe oorzaken van een knoop bekend zijn, een knoop onafhankelijk is van alle andere knopen, behalve van de directe oorzaken en gevolgen;
3. Aan de hand van gegevens van een bepaald projectplan wordt met behulp van een opgezet model resultaten verkregen. Deze resultaten zijn geschatte voorspellingen van het risicoprofiel voor het specifieke project;
4. De resultaten uit bijvoorbeeld een Bayesiaanse netwerk worden vervolgens aangetoond aan de desbetreffende belanghebbende, waarmee hij een ondersteuning krijgt voor een te nemen beslissing in zijn project.

Het geraamte van ConsulBrain, gebaseerd op GeoBrain, wordt in figuur 2.13 afgebeeld.



Figuur 2.13: ConsulBrain-GeoBrain systematiek

Het is duidelijk dat kennis een centrale rol speelt in het ConsulBrain model. Het vakgebied van het kennismanagement houdt zich bezig met het beheersen van kennis. Een mogelijkheid om dit te doen is door het ontwikkelen van een expertsysteem. In het volgende hoofdstuk 3 wordt dieper ingegaan op dit onderwerp

3 Expertsystemen

De aanleiding voor dit onderzoek is onder andere om een oplossing te ontwikkelen voor het kennisprobleem binnen het bedrijf GeoDelft. In het eerste inleidende hoofdstuk is beschreven, dat in de literatuur van het kennismanagement een mogelijke oplossing voor het kennisprobleem wordt behandeld in de vorm van een expertsysteem. Een expertsysteem legt namelijk stilzwijgende impliciete en expliciete kennis van experts vast en maakt deze daarbij toegankelijk.

In de doelstelling van dit onderzoek wordt aangegeven dat het GeoBrain - concept als basis moet worden gebruikt voor de te ontwikkelen expertsysteem. Om dit te verwezenlijken is in het tweede hoofdstuk het GeoBrain - concept behandeld. De te gebruiken onderdelen van GeoBrain voor het expertsysteem worden uiteindelijk hierin beschreven.

In dit hoofdstuk wordt aan de hand van een literatuuronderzoek geconcludeerd wat verder nodig is om een generiek expertsysteem op te stellen.

In hoofdstuk twee is het GeoBrain - concept behandeld. Een van de elementen van GeoBrain is dat het een generieke modelaanpak is. Het gestructureerd bijeenbrengen en integreren van verschillende soorten kennis, ervaringen en gegevens speelt daarbij een primaire rol.

Momenteel wordt door GeoDelft het GeoBrain Funderingstechnieken ontwikkeld. In deze GeoBrain wordt verschillende kennis onttrokken door het laten invullen van vragenlijsten. Ook worden er interviews met betrokkenen gepleegd om kennis te verzamelen.

De twee elementen van generieke modelaanpak en het vastleggen van kennis worden dus door GeoDelft benoemd en uitgevoerd. In dit hoofdstuk wordt nu uiteengezet wat hierover precies in de literatuur wordt beschreven. Eerst wordt in paragraaf 3.1 het kennisprobleem nader beschreven door te onderzoeken welke rol kennis heeft in een kennisintensieve dienstverlener als GeoDelft. Ook wordt behandeld hoe kennis wordt beheerst en welke rol een expertsysteem daarbij heeft.

In paragraaf 3.2 wordt het expertsysteem verder behandeld door een beschrijving te geven, waarin de verschillende onderdelen worden behandeld. Ook komt ter sprake hoe volgens de literatuur een expertsysteem wordt ontwikkeld. Vervolgens wordt in paragraaf 3.3 beschreven hoe volgens de literatuur kennis kan worden vastgelegd.

Dit alles om uiteindelijk in paragraaf 3.4 te concluderen wat volgens de literatuur de vorm is van een generiek model voor het opstellen van een expertsysteem en het vastleggen van kennis. Deze conclusies worden uiteindelijk gebruikt voor het opstellen van het ConsulBrain model.

3.1 Kennisprobleem

3.1.1 Kennismanagement in kennisintensieve dienstverlening

Het doel van dit onderzoek is om voor het bedrijf GeoDelft een model te ontwikkelen, dat onder andere een oplossing aanreikt voor het kennisprobleem binnen de organisatie. Kenmerkend voor GeoDelft is dat het een kennisintensieve dienstverlener is. Deze paragraaf behandelt daarom eerst welke kenmerkend een organisatie van een kennisintensieve dienstverlener heeft. Vervolgens worden de begrippen rond "kennis" kort beschreven, zodat het enigszins duidelijk wordt wat kennis nu precies inhoudt en welke soorten aanwezig kunnen zijn binnen een organisatie. Uiteindelijk zal het kennisprobleem binnen een kennisintensieve organisatie nader worden beschreven.

Volgens Verwijs e.a. (1999) wordt een kennisintensieve organisatie herkend door naar het verschil van boekwaarde en beurswaarde van een bedrijf te kijken. De beurswaarde van een kennisintensieve organisatie is onder andere gebaseerd op de verwachte winstgevendheid. Deze winstgevendheid wordt vervolgens vooral bepaald door kennisgebaseerde productiefactoren in de vorm van intellectuele kapitaal. Dit kapitaal is niet te vinden in de

boeken van het bedrijf, waardoor de beurswaarde hoger ligt dan de vast te leggen boekwaarde. Daarentegen is de productie van een kapitaalintensief bedrijf meer gebaseerd op de factoren die wel op de balans staan, zoals fabrieken, machines en arbeidsuren. De beurswaarde van een dergelijk organisatie ligt dan ook veel dichterbij de balanswaarde.

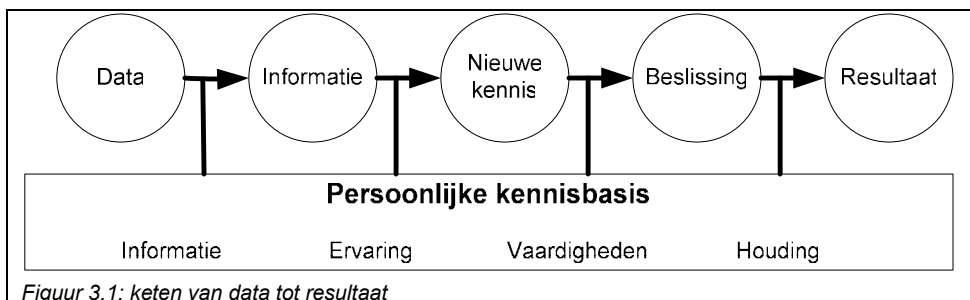
Een kennisintensieve organisatie wordt door Weggeman (1995) beschreven als een organisatie waar de kern wordt gevormd door professionals, die met behulp van bestaande kennis, kennis ontwikkelen, vastleggen, toepassen en verkopen ten behoeve van zichzelf en van interne of externe klanten. Een kennisintensieve organisatie wordt daarom gekenmerkt door de mensen die erin werken. Deze medewerkers worden kenniswerkers genoemd, als ze over relevante kennis beschikken en bovendien continu nieuwe kennis verkrijgen en gebruiken ten behoeve van verbeteringen en vernieuwingen in werkprocessen, producten of diensten.

Deze kenniswerkers onderscheiden zich van handwerkers doordat de kwaliteit van hun productie voor het overgrote deel bepaald wordt door de wijze waarop zij gebruik maken van ideeën, begrippen, modellen en informatie en slechts beperkte spierkracht en handvaardigheid gebruiken. In het verloop van deze scriptie wordt in paragraaf 4.3 verder aandacht besteed aan de karakteristieke kwaliteitszorg van een kennisintensieve dienstverlening.

Concluderen kan men stellen dat in de literatuur een kennisintensieve dienstverlener wordt beschreven als een organisatie waar het intellectuele kapitaal de belangrijkste productiefactor is. Hierdoor is de manier hoe deze kennis wordt beheerst cruciaal voor de productie van deze bedrijven.

Voordat wordt behandeld hoe kennis kan worden beheerst, wordt eerst het begrip kennis beschreven. Binnen het kennismanagement is er een verschil tussen de begrippen gegevens, kennis en informatie. Door Verwijs e.a. (1999) worden deze begrippen als volgt beschreven. Gegevens zijn symbolen waar nog geen betekenis aan is gegeven en die in allerlei vormen voorkomen. Informatie is altijd gekoppeld aan een specifieke situatie en heeft slechts een beperkte geldigheidswaarde. Kennis stelt mensen in staat om betekenis toe te kennen aan gegevens om daaruit informatie te genereren. Kennis is het geheel van juiste inzichten, ervaringen, procedures die richting geven aan het denken, handelen en communiceren van mensen. Deze kennis kan bij mensen in hun hoofd zitten of is vastgelegd op papier. Kennis is altijd in meerdere situaties en over een relatief lange tijdsperiode toepasbaar.

In de praktijk is het niet zo eenvoudig om een onderscheid te maken tussen kennis, informatie en gegevens. Het kan per persoon verschillen of iets een gegeven, informatie of kennis is. Daarom wordt door Verwijs e.a. (1999) een keten gesteld van data tot resultaat, waarbij informatie als paraplu fungeert. In onderstaande figuur wordt dit afgebeeld.



Figuur 3.1: keten van data tot resultaat

Kennis is er in verschillende soorten en in de literatuur worden diverse indelingen van kennissoorten gevonden. Een indeling wordt onder meer gemaakt in een artikel van Sanderse e.a. (1999), waarin een onderscheid wordt gemaakt tussen kennis die alleen in het hoofd zit, "brain knowledge" en kennis die daarnaast ook is opgeslagen bij andere kennisdragers; "represented knowledge".

Binnen een kennisintensieve organisatie hangt kennis hangt niet in de lucht. Er is altijd sprake van een kennisdrager. Niet alleen de kenniswerker kan als drager van kennis worden aangemerkt maar ook de volgende dragers worden onderscheiden, aldus Sanderse e.a. (1999):

- Mens;
- Hardware (machines);
- Software (programma's, informatiesystemen, expertsystemen);
- Documenten (boeken, tijdschriften, cd-rom's).

In een kennisintensieve organisatie is er sprake van vier soorten kennis (Sanderse e.a., 1999):

1. Ongeordende "brain knowledge".
Dit is een mix van kennis die ongestructureerd, onduidelijk wat betreft herkomst en samenhang of op basis van intuïties aanwezig is. Deze kennis kan niet direct worden opgeschreven of worden neergelegd in de organisatie. Deze persoonsgebonden kennis in het hoofd is moeilijk te formaliseren en daardoor lastiger te delen met anderen. Een voorbeeld is bepaalde ervaring in omgang met klanten.
2. Geordende "brain knowledge".
Deze kennis is tegenovergesteld aan ongeordende brain knowledge en kan expliciet worden uitgedrukt in woord en getal, wetenschappelijke formules, genormeerde procedures of universele beginselen en kan eenvoudig worden overgedragen. Expliciete kennis kan worden vastgelegd in documenten, mappen, theorieën, handboeken, procedures en technische systemen. Een gehanteerde projectaanpak is een voorbeeld van deze kennissoort.
3. Ongeordende "represented knowledge".
Deze kennis is wel aanwezig binnen de organisatie, maar niet direct vindbaar, benaderbaar, bruikbaar en toepasbaar door afwezigheid van structuur of door de omvang. Het betreft bijvoorbeeld kennisverzamelingen als een documentatiecentrum (knipselkranten, periodieken).
4. Geordende "represented knowledge".
Deze kennis is met een vooropgesteld doel verzameld, is gestructureerd opgeslagen en voorzien van toegangspaden. Dit is kennis die we tegenkomen in documenten in al dan niet geautomatiseerde informatiesystemen.

De beschreven kennissoorten worden in onderstaande tabel gerangschikt.

Kennissoort	Ongeordend	Geordend
Brain knowledge	Persoonsgebonden kennis in het hoofd, wat moeilijk is te formaliseren en daardoor lastiger te delen met anderen.	Kennis wat expliciet kan worden uitgedrukt in woord en getal en kan eenvoudig worden overgedragen.
Represented knowledge	Deze kennis is wel aanwezig binnen de organisatie, maar niet direct vindbaar, benaderbaar, bruikbaar en toepasbaar door afwezigheid van structuur.	Deze kennis is met een vooropgesteld doel verzameld, is gestructureerd opgeslagen en eenvoudig toegankelijk.

Tabel 3.1: Kennistabel voor kennissoorten

Nu het duidelijk is wat de kenmerken zijn van een kennisintensieve organisatie en de kennisbegrippen kort zijn behandeld, wordt het kennisprobleem nader beschreven. Een artikel op de website (Kennisportal.com, 2007) stelt vast dat kennismanagement het bewustzijn rond het kennisprobleem versterkt en daarbij de juiste wijze aangeeft hoe met kennis om te gaan. Juist in kennisintensieve organisaties is het op een effectieve wijze gebruik maken van de aanwezige kennis voor de uitvoering van veel processen en activiteiten cruciaal.

Volgens dit artikel treedt een kennisprobleem op in de volgende situatie:

- Bepaald werk wordt beter uitgevoerd door een medewerker met meer ervaring;
- Het werk kenmerkt zich doordat dezelfde taken op verschillende momenten door verschillende medewerkers worden uitgevoerd op verschillende wijze met een verschillend resultaat;
- Wanneer enkele medewerkers een organisatie zouden verlaten, verdwijnt hierdoor waardevolle kennis;
- Een organisatie die het gevoel heeft steeds weer hetzelfde wiel uit te vinden;
- Het werk kenmerkt zich door veel niet zichtbare processen door middel van denkwerk;
- Een organisatie ontwikkelt kennis, die ook door andere organisaties wordt ontwikkeld;
- Fouten en risico's komen voort uit een tekort aan kennis.

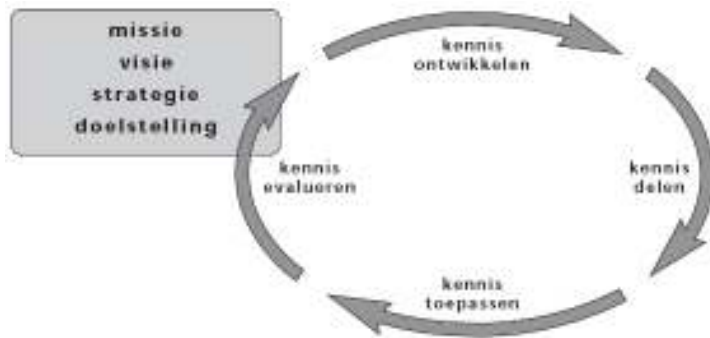
Het artikel van Sanderse e.a. (1999) stelt ook vast dat het bijzondere probleem van een kennisintensieve organisatie is dat deze kennis binnen deze organisatie verdeeld aanwezig en vaak moeilijk bereikbaar en toegankelijk is. Hierdoor is de cruciale kennis vaak ongrijpbaar. Dit maakt deze kennis niet alleen ontoegankelijk voor anderen en daarmee ongeborgd. Ook bij ziekte of vertrek van een kenniswerker kan belangrijke kennis verdwijnen. Het weer op peil brengen van deze kennis is kostbaar en tijdrovend. Zelfs aanwezige kennis, die echter niet traceerbaar is, kan als verloren worden beschouwd. Ook zijn kenniswerkers maar op een plek tegelijk inzetbaar. Als andere kenniswerkers geen of moeilijk toegang hebben tot deze kennis, wordt deze beschikbare kennis niet maximaal gebruikt. Een ander probleem is dat vastgelegde kennis vaak ook slecht toegankelijk, verspreid, ongestructureerd en niet digitaal beschikbaar is. Volgens Sanderse e.a. (1999) is het doel van kennismanagement daarom om cruciale, vaak ongrijpbare kennis in de kennisintensieve organisatie toegankelijk, toepasbaar en traceerbaar te maken. Daarnaast moet deze kennis bij meerdere kennisdragers belegd worden.

Om de genoemde situaties rond het kennisprobleem binnen een kennisintensieve organisatie als GeoDelft te beheersen, wordt in dit onderzoek ConsulBrain ontwikkeld. Kennismanagement heeft tot doel om dit kennisprobleem op te lossen. In de volgende paragraaf wordt daarom kennismanagement kort behandeld. Hier worden ook de verschillende benaderingen van kennismanagement behandeld, waarna een mogelijke oplossing voor het kennisprobleem van GeoDelft wordt gegeven in de vorm van een expertsysteem. De aspecten van een expertsysteem worden in het ConsulBrain model geïntegreerd.

3.1.2 Oplossing kennisprobleem: kennismanagement

De meest eenvoudige omschrijving van het begrip kennismanagement is het beheren van de productiefactor kennis. In de literatuur wordt dit begrip op verschillende manieren beschreven. Weggeman (1997) beschrijft de zogenaamde kenniswaardeketen. Deze keten bestaat uit een opeenvolging van vijf schakels waardoor er een opwaartse spiraal van kennisontwikkeling en kennisverspreiding ontstaat. De volgende schakels worden in figuur 3.2 afgebeeld:

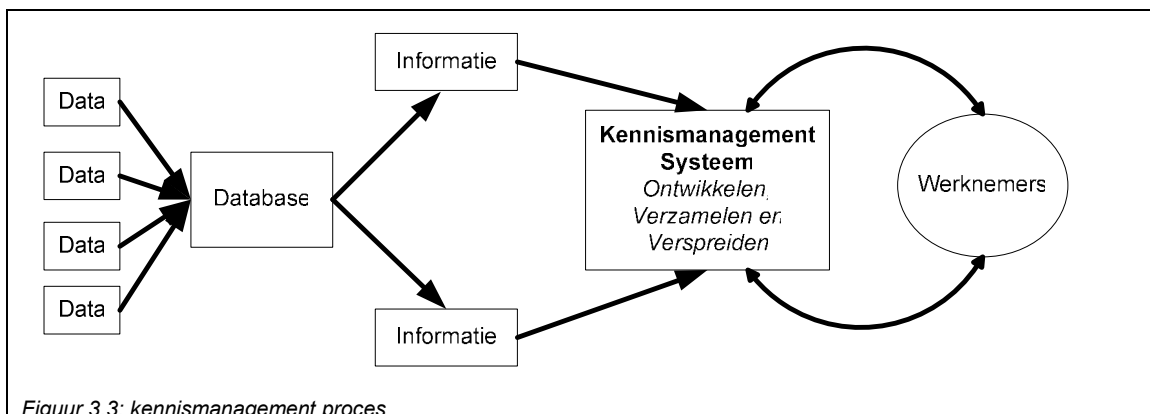
- Formuleren van de missie, visie, doelen en strategie van de organisatie;
- Kennis ontwikkelen;
- Kennis delen: het systematisch voor anderen toegankelijk maken van kennis;
- Kennis toepassen: het gebruik maken van aanwezige kennis bij het uitvoeren van projecten;
- Kennis evalueren: het kritisch beoordelen van de bruikbaarheid van de toegepaste kennis.



Figuur 3.2: kenniswaardeketen

Aan de hand van de kenniswaardeketen formuleert Weggeman (1997) het begrip kennismanagement als het zodanig inrichten van de organisatie en besturen van operationele processen in de kenniswaardeketen, zodat het rendement van de productiefactor kennis wordt bevorderd.

Deze definitie ligt in de lijn van Desouza's (1979) omschrijving van het begrip kennismanagement. Hierin wordt het gedefinieerd als een continu proces van gebruik van individuele intellectuele kennis en ervaringen binnen een organisatie, waardoor bepaalde doelstellingen effectief en efficiënt worden bereikt. Dit continue proces van kennismanagement bestaat uit de volgende stappen en wordt in figuur 3.3 afgebeeld. Eerst wordt data verzameld en opgeslagen in een database, waaruit vervolgens informatie kan worden gehaald. Uit de informatie kan in een kennismanagement - systeem kennis worden ontwikkeld, verzameld en verspreid. Werknemers maken dan gebruik van dit systeem en zorgen ook voor terugkoppeling van kennis. Deze terugkoppeling voorkomt dat kennis gedateerd en dus onbruikbaar wordt.

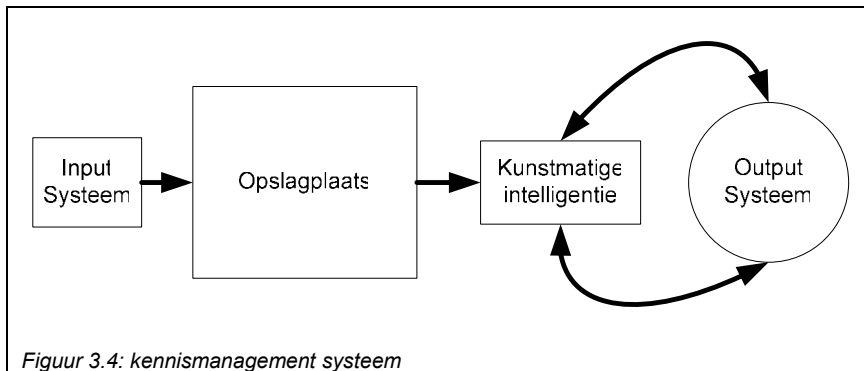


Figuur 3.3: kennismanagement proces

In het beschreven en afgebeelde proces van kennismanagement neemt het kennismanagement systeem een centrale rol. Dit systeem bestaat uit vier onderdelen (Desouza, 1979):

- Een input systeem dat data en informatie verzameld;
- Een centrale opslagplaats van verschillende kennisbronnen;
- Kennis wordt vervolgens ontwikkeld door het toepassen van kunstmatige intelligentie;
- Een output systeem dat kennis verspreid aan werknemers, die het dan terugkoppelen.

Jorna e.a. (1992) beschrijven dat de doelstelling van kunstmatige intelligentie is om het gedrag van mensen in een nauwkeurige gedefinieerde domein steeds beter te simuleren. In hoofdstuk twee is al een onderdeel van kunstmatige intelligentie beschreven in de vorm van Bayesiaanse netwerken. Deze zijn een manier om kennis op een bepaald gebied te representeren in een expertsysteem.



Figuur 3.4: kennismangement systeem

Door Weggeman (1997) en Desouza (1979) wordt kennismangement dus benaderd als een continu proces van het verzamelen, ontwikkelen, evalueren en toepassen van kennis. Maar in de literatuur bestaat er geen eenduidige visie op kennismangement. Er zijn volgens Verwijs e.a. (1999) dan ook verschillende benaderingen te onderscheiden in de literatuur. Hieronder worden kort vier benaderingen beschreven.

De eerste benadering is de “opslagbenadering”. Deze benadering is vooral gericht op het opslaan van expliciete kennis. Kennis wordt hierin objectief gemaakt door het los te koppelen van de oorspronkelijke kennisdrager. De kennis van medewerkers wordt beschikbaar gemaakt voor anderen door het in informatiesystemen of databanken op te slaan. Op deze manier is een organisatie niet langer afhankelijk van de mensen die de kennis hebben ingebracht. Het succes van deze benadering is afhankelijk van de mate waarin kennis daadwerkelijk in dergelijke systemen kan worden ondergebracht, en of die kennis vervolgens wordt gebruikt. Het kennismangement systeem, beschreven door Desouza (1979), heeft in deze benadering dus een belangrijke rol.

De manier hoe kennis wordt verzameld speelt in deze stroming ook een belangrijke rol. Het gaat hierbij namelijk niet alleen om de expliciete kennis, maar ook om impliciete kennis die dus eerst expliciet moet worden gemaakt voordat het bruikbaar wordt voor een kennismangement systeem.

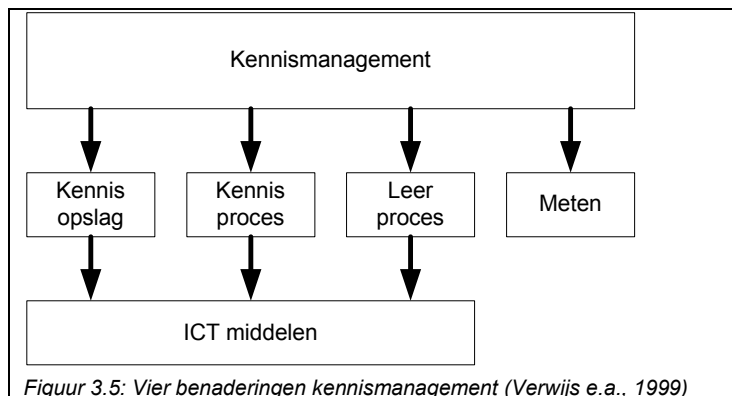
De tweede benadering is de “kennisstroom - benadering”. Bij deze benadering wordt kennis als productiefactor beschouwd, waarbij de mens als kennisdrager een centrale plaats inneemt. Communicatie tussen mensen is hierbij een belangrijk middel en het managen van de kennis krijgt vorm binnen de bedrijfsprocessen. Door de procesinrichting en kennisinfrastructuur af te stemmen op de kennisbehoefte van een organisatie kan een betere kennishuishouding worden gevoerd. Weggeman’s (1997) beheersing van de “kenniswaardeketen”, waarin de opslag van kennis niet een centrale rol heeft, past vooral in deze benadering.

Het verschil met de eerste benadering is dat in de opslag benadering expliciete kennis los staat van de drager. In de kennisstroom benadering daarentegen is kennis impliciet en moet worden overgedragen door communicatie tussen mensen. In deze benadering is men overtuigd dat bepaalde database structuren slechts een klein deel van de aanwezige kennis kunnen bergen. Daarom is er hier meer aandacht voor de communicatie.

De derde benadering is de benadering van “organisatorisch leren”. In deze benadering wordt benadrukt dat kennis een dynamisch karakter heeft en dat deze dynamiek een onderdeel van het kennismangement zou moeten vormen. Daarom staat niet de kennis centraal, maar de leerprocessen waar de kennis uit voortkomt en in gebruikt wordt.

De laatste benadering, die door Verwijs e.a. (1999) wordt beschreven, is vooral gericht op het aantonen van het belang van de factor kennis in de bedrijfsvoering. Door te meten dat kennis een belangrijke productiefactor is zal de aandacht van het management erop worden gevestigd. Om een organisatie goed te kunnen aansturen is inzicht in het intellectuele kapitaal belangrijker voor de toekomst van een kennisintensieve organisatie dan inzicht in de financiële toestand. We noemen dit de “accountancy benadering”.

De vier verschillende benaderingen worden nogmaals in figuur 3.5 afgebeeld. Hierin wordt duidelijk gemaakt dat bij de eerste drie benaderingen, van kennisopslag, kennisproces en leerproces, gebruik wordt gemaakt van middelen uit de informatietechnologie. Bepaalde kennis-, informatie- en communicatiesystemen zoals databanken, internet en intranet systemen spelen hier een rol.



Figuur 3.5: Vier benaderingen kennismangement (Verwijs e.a., 1999)

3.1.3 Rol van expertsysteem

Om het kennisprobleem op te lossen worden in het kennismangement literatuur dus een viertal benaderingen behandeld. In dit onderzoek is het de bedoeling om een interne GeoBrain toepassing te ontwikkelen, dat een oplossing kan zijn voor het kennisprobleem binnen GeoDelft. Een van de functies van deze te ontwikkelen *ConsulBrain* is om kennis te borgen en het toegankelijk te maken voor de organisatie. Deze functies horen bij de eerste “kennisopslag” benadering, waarin het expertsysteem als alternatieve oplossing wordt beschreven. Gebruik van expertsystemen wordt door Castillo e.a. (1997) vooral aanbevolen in de volgende situaties:

- Wanneer kennis moeilijk is te verwerven of gebaseerd is op ervaring van enkele medewerkers;
- Wanneer continue verbeteringen en veranderingen in kennis essentieel is in een bepaald vakgebied;
- Wanneer menselijke experts duur zijn of moeilijk te vinden zijn;
- Wanneer kennis van de gebruiker over het onderwerp beperkt is.

Een expertsysteem wordt in de literatuur gedefinieerd als een computerprogramma dat zich gedraagt als een menselijke expert (Verwijs e.a., 1999) (Castillo e.a., 1997). Kennis die een expert heeft op een bepaald vakgebied wordt vertaald naar bepaalde regels, waarmee via logische redenering van het programma problemen kunnen worden opgelost. Net als een menselijke expert is een expertsysteem gespecialiseerd in een bepaald onderwerp.

Castillo e.a. (1997) beschrijven vervolgens twee type expertsystemen. Ze onderscheiden een expertsysteem voor deterministische problemen en stochastische problemen. Deterministische problemen kunnen worden geformuleerd door gebruik te maken van een set regels, gerelateerd aan aantal gedefinieerde objecten. De conclusies van deze expertsystemen zijn daarom gebaseerd op logische redeneringen. In stochastische problemen geeft een expertsysteem een oplossing in een onzekere situatie aan de hand van methoden uit de kansberekening. De behandelde Bayesiaanse netwerken in het vorige hoofdstuk gebruiken bepaalde deterministische regels om stochastische methoden om bepaalde problemen op te lossen. De regels worden gebruikt om een grafische representatie weer te geven van de relatie tussen de aanwezige variabelen. Daarnaast worden stochastische methoden gebruikt om een inhoudelijke relatie weer te geven tussen de variabelen.

Jorna e.a. (1992) stellen vast dat tegenwoordig expertsystemen de menselijke expert niet kunnen vervangen. Volgens hen is het doel van een expertstelsysteem om een deel van de menselijke kennis over een bepaald domein expliciet te maken. Deze expliciete kennis kan worden opgeslagen en is daarmee beschikbaar voor hergebruik. Tijdens het nemen van bepaalde beslissingen kan aan de hand van een expertstelsysteem een samenspel ontstaan tussen menselijke kennis verwerking en machinaal kennisverwerking. Een gebruiker zal nu dezelfde beslissingen sneller of eenvoudiger kunnen maken. Jorna e.a. (1992) beschrijven dat het zelfs mogelijk is dat, door het bovengenoemde samenspel, andere oplossingen naar voren komen.

Volgens Castillo e.a. (1997) zou een expertstelsysteem in staat moeten zijn om het volgende uit te voeren:

- Het verwerken en onthouden van kennis;
- Het leren en redeneren in vastgestelde of onzekere situaties;
- Communiceren met gebruikers, experts en/of andere expertsystemen;
- Het maken en verklaren van geschikte beslissingen in deterministische en stochastische situaties.

De voordelen van een expertstelsysteem zijn dus:

- Kennis wordt vastgehouden, waardoor het verlies van kennis en ervaring door bepaalde personeelsmutaties wordt voorkomen;
- Kennis wordt beschikbaar gesteld aan een brede groep gebruikers. Hierdoor zullen gebruikers met relatief weinig expertise problemen kunnen oplossen, waarvoor een bepaalde mate van expertise nodig is;
- Een expertstelsysteem bevordert de verspreiding van kennis door de gehele organisatie. Hierdoor blijft bepaalde kennis niet alleen beschikbaar bij bepaalde kenniswerkers;
- Kennis wordt objectief en los van de oorspronkelijke kennisdrager opgeslagen, waardoor een organisatie onafhankelijk wordt van de kennismedewerkers. Objectieve kennis bevordert ook de kwaliteitsbeheersing van consultancy. Een advies zal dan minder worden gebaseerd op subjectieve meningen van bepaalde kenniswerker;
- Een expertstelsysteem kan sneller tot oplossingen komen dan menselijke experts. In situaties met tijdsdruk is het gebruik van een expertstelsysteem daarom erg waardevol;
- Expertsystemen kunnen worden gebruikt om steeds opnieuw herhaalde en saaie handelingen uit te voeren.

De voordelen van een expertstelsysteem lijken duidelijk. Maar Verwijs e.a. (1999) wijzen op de moeilijkheden om een expertstelsysteem op te stellen:

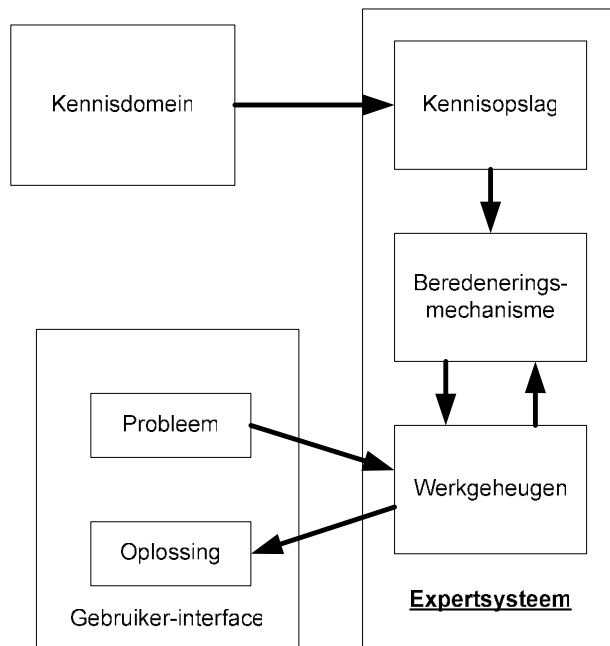
- Het verzamelen van kennis en het bouwen van een expertstelsysteem is een complex proces. Problemen hierin zijn het definiëren en afbakenen van het kennisdomein, de beperktheid van de modellen, het afstemmen van de verschillende meningen van experts en het omschrijven van algemene kennis. Het volledige expliciteren van impliciete kennis is hierdoor eigenlijk onmogelijk;
- Het bouwen en bijhouden van een expertstelsysteem kost erg veel inspanning en geld;
- Daar komt bij dat gebruikers grote moeite hebben om expertsystemen die onvolledige kennis bevatten, correct te gebruiken.

3.2 Expertsysteem

Het doel is om een generiek model op te stellen van een expertsysteem dat gebaseerd is op het GeoBrain concept. De conclusies van dit hoofdstuk zullen gebruikt worden om een structuur op te stellen voor een generieke ConsulBrain model, dat vervolgens toegepast zal worden voor HDD consultancy. Hieronder wordt het model beschreven voor het ontwikkelen van een generiek expertsysteem. Eerst worden de onderdelen van een expertsysteem besproken, waarna wordt ingegaan op de verschillende stappen van een expertsysteem. De onderdelen hiervan zullen gebruikt worden om het ConsulBrain model verder te bouwen.

3.2.1 Onderdelen van een expertsysteem

Een expertsysteem heeft een aantal generieke onderdelen.



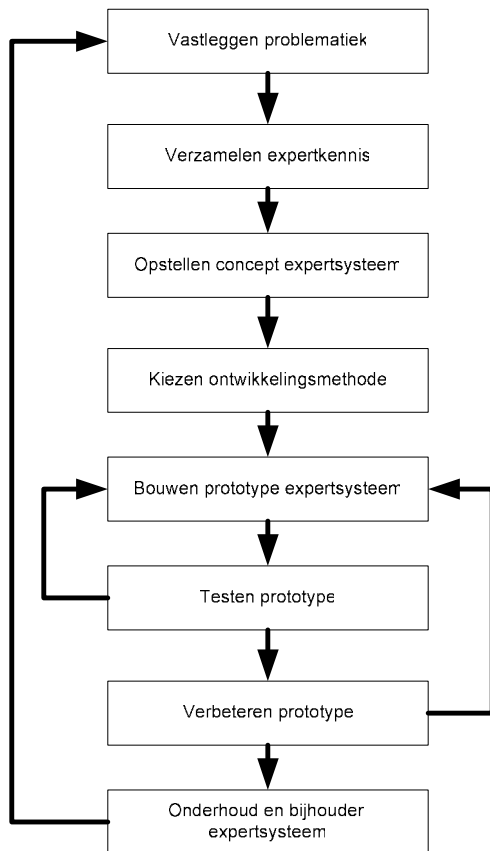
Figuur 3.6: onderdelen expertsysteem (Guida e.a., 1995)

Een expertsysteem bestaat uit een drietal onderdelen:

- Kennissopslag, waarin kennis uit een bepaald domein wordt verworven en opgeslagen;
- Kennisbewerking, waarmee opgeslagen kennis aan de hand van een beredeneringsmechanisme en een werkgeheugen wordt bewerkt in bruikbare kennis;
- Gebruikersinterface, waarin een gebruiker een ingang heeft tot het systeem. De gebruiker haalt uit de bewerkte kennis die mogelijke oplossing voor zijn specifiek probleem.

3.2.2 Ontwikkeling expertsysteem

Hieronder worden de generieke stappen beschreven om tot een expertsysteem te komen.



Figuur 3.7: ontwikkelingsproces expertsysteem (Castillo e.a., 1997).

- **Vastleggen problematiek**
Het definiëren van de problematiek is de belangrijkste stap in de ontwikkeling van een expertsysteem. Bij een slechte definitie is de kans groot dat het systeem niet de verwachte antwoorden geeft.
- **Verzamelen expertkennis**
In deze stap worden de experts verzameld, die het probleem kunnen oplossen.
- **Opstellen concept expertsysteem**
Een concept wordt hier opgesteld voor de verschillende onderdelen van een expertsysteem; kennisopslag, gebruikersinterface, verklaringssystematiek, etc
- **Kiezen ontwikkelingsmethode**
Hier worden de gereedschappen gekozen om het systeem te ontwikkelen. Als bepaalde onderdelen van het systeem al beschikbaar zijn en hun waarde al bewezen hebben, wordt door Castillo (1997) aanbevolen dat het goedkoper en betrouwbaarder is om deze onderdelen te nemen.
- **Bouwen en testen prototype expertsysteem**
Het prototype wordt vervolgens gebouwd en getest. Als het prototype niet voldoet aan de verwachtingen, dan moeten de vorige stappen worden herhaald.
- **Verbeteren prototype**

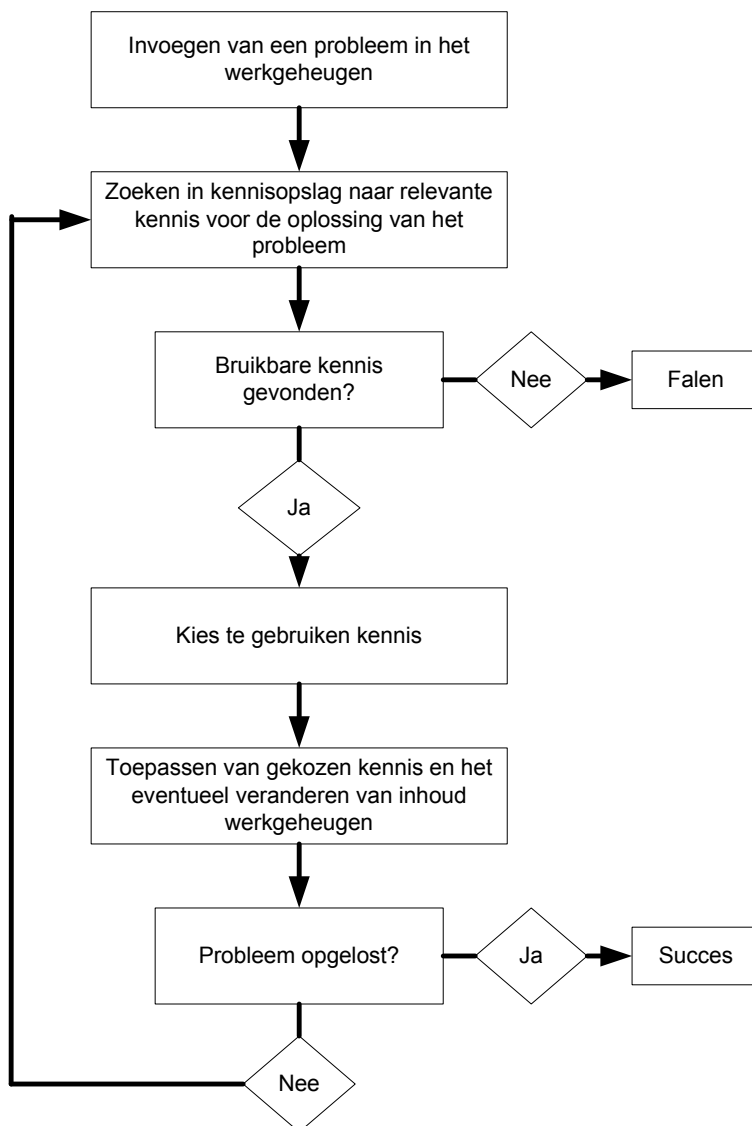
Eventuele fouten worden hier verbeterd of bepaalde nieuwe mogelijkheden ter verbetering van het systeem worden ingevoerd.

- Onderhoud en bijhouden expertsysteem
Het systeem wordt hier onderhouden en nieuwe kennis wordt bijgehouden.

Elke stap in figuur heeft invloed op het resultaat van een expertsysteem. Hierdoor is het noodzakelijk om het systeem steeds weer te evalueren aan de hand van de ervaringen van de gebruiker.

3.2.3 Gebruik expertsysteem

Guida e.a. (1995) beschrijven een generieke gebruik van een expertsysteem.



Figuur 3.8: gebruik expertsysteem (Guida e.a., 1995)

3.3 Kennisacquisitie

Het verzamelen en borgen van kennis draagt ertoe bij dat alle relevante kennis voor de organisatie behouden blijft en veilig gesteld wordt, ook als medewerkers onverhoopt uitvallen of vertrekken. Het borgen van kennis heeft als doel de kennis voor de organisatie grijpbaar te maken en veilig te stellen. Het resultaat is dat de kennis voor de organisatie:

- Traceerbaar is;
- Toegankelijk is;
- Toepasbaar is;
- Twee of meer kennisdragers betreft.

Het borgen van kennis kan op papier of elektronisch (handboeken of database) of tussen de oren van mensen (seminars of inwerken door collega's). Kennisborging gebeurt wanneer kennis wordt overgedragen. Enerzijds kan de mens kennis overdragen aan andere kennisdragers dan de mens, bijvoorbeeld naar documenten en computers. Anderzijds gebeurt kennisborging door het overdragen van kennis naar andere mensen via de hoofden van mensen. Vastlegging van de aanwezige kennis moet zodanig geschieden dat de kennis voor een ieder die daartoe bevoegd is, bereikbaar, bruikbaar en benaderbaar is.

Wanneer kennis een zo essentiële, maar ook moeilijk grijpbare productiefactor is geworden, is het bedenken van mogelijkheden om die kennis te managen geen luxeactiviteit (Weggeman, 1995).

Het proces van kennisverwerving bestaat zowel uit het verzamelen van expliciet gemaakte kennis, bijvoorbeeld literatuur en handleidingen, als het verzamelen van impliciete kennis. Vooral voor het laatste zijn veel instrumenten ontwikkeld om kennis aan mensen te onttrekken en deze kennis expliciet te maken. Tijdens het verzamelen van kennis wordt gebruik gemaakt van diverse kennisbronnen, zoals een menselijke expert, handboeken, archieven met oude problemen en oplossingen, de uiteindelijke gebruikers. Samen leveren deze kennisbronnen de inhoud van het kennisdomein.

Uiteindelijk wordt de verzamelde kennis ondergebracht in een kennismodel, dat gebruikt wordt voor het bouwen van een expertsysteem. Die kennis kan ook in een informatiesysteem worden ondergebracht.

Een moeilijk maar belangrijk onderdeel van kennisverzameling is het verwerven van kennis, waarbij impliciete kennis van een deskundige expliciet wordt gemaakt. Enkele problemen van kennisverzameling zijn: het definiëren en afbakenen van het kennisdomein, de beperktheid van de modellen, het afstemmen van de verschillende meningen van domeinexperts en het omschrijven van algemene kennis.

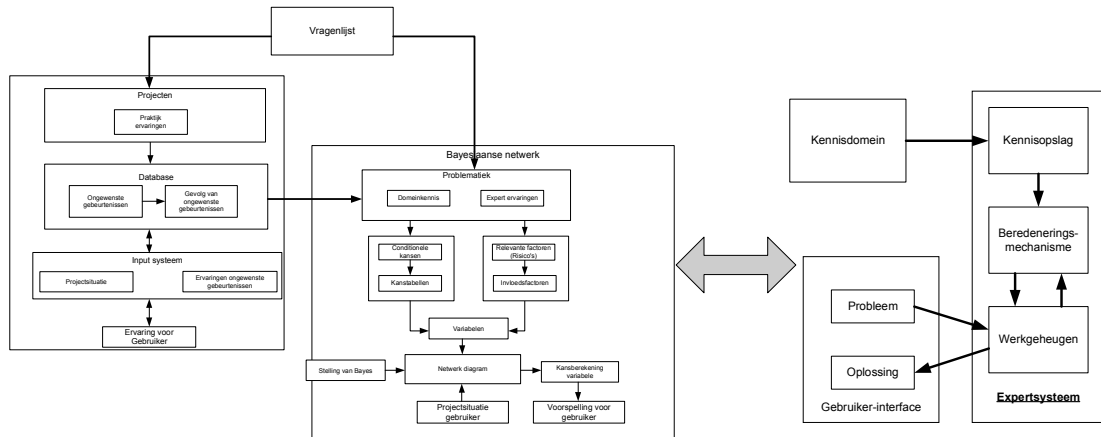
Voor het verzamelen van kennis worden door Verwijs e.a. (1999) en Jorna e.a. (1992) technieken beschreven:

- Een belangrijke manier voor kennisacquisitie is het interviewen van de deskundige, waarbij hem rechtstreeks wordt gevraagd zijn kennis te verwoorden. Ook kan er gebruik worden gemaakt van vragenlijsten. Doel van het interview is de structuur van het kennisdomein verder bloot te leggen en om bepaalde waarden in te vullen. Bij het vastleggen van onzekerheden wordt de expert gevraagd de mate van onzekerheid over een bepaalde waarde aan te geven. Deze vastlegging kan op verschillende manieren gebeuren, bijvoorbeeld door het gebruik van een glijdende schaal tussen onzeker en zeker of op een discrete schaal door het laten aangeven van schaalpunten “heel zeker”, “tamelijk zeker” en “heel onzeker”.

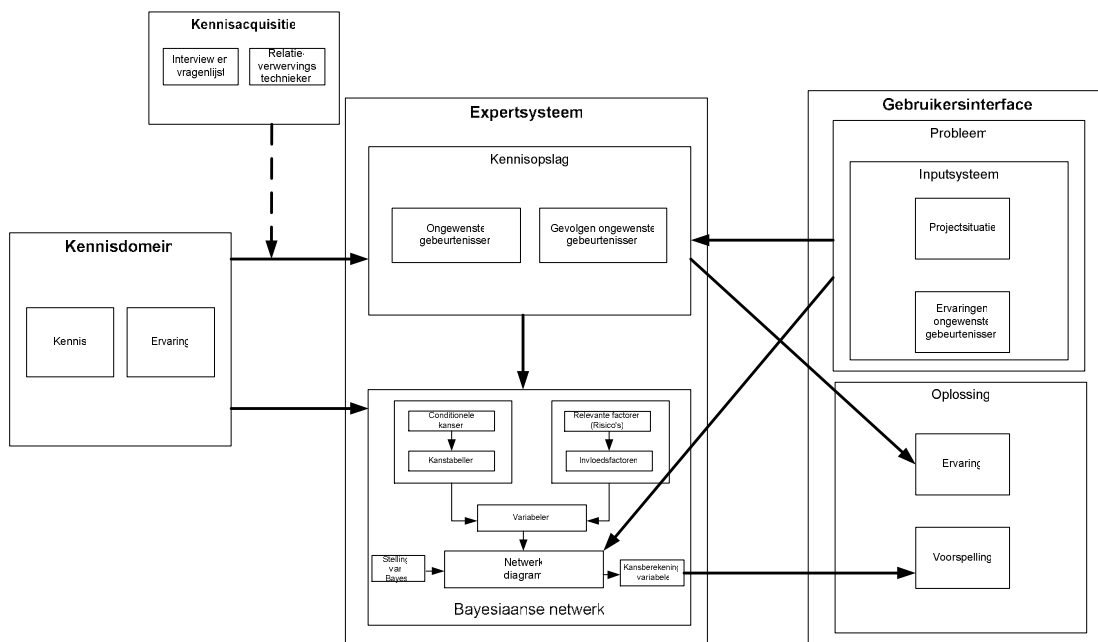
- Het is ook mogelijk om iemand tijdens zijn werkzaamheden te observeren. Vaak dient de deskundige hardop te denken bij de observatie; de verwoorde kennis die de deskundige gebruikt bij het oplossen van problemen wordt dan genoteerd. Met behulp van structureringstechnieken wordt vervolgens bekeken hoe de deskundige deze kennis gebruikt bij het oplossen van problemen. Bij de twintig vragentechniek wordt iemand gevraagd om in maximaal twintig vragen een probleem te achterhalen. Op deze manier wordt inzicht verkregen in de hoeveelheid en soort informatie die een expert nodig heeft om een probleem op te lossen.
- Bij relatie-verwervingstechnieken gaat het om het opsporen van relaties tussen objecten in een kennisdomein. Deze objecten zijn over het algemeen in een eerder stadium al vastgelegd. In het boek van Jorna e.a. (1992) wordt hiervoor twee verschillende technieken beschreven. Een daarvan is de techniek van “drawing closed curves”, waarin objecten van een kennisdomein ruimtelijk te representeren zijn. De expert geeft door middel van gesloten lijnen aan welke objecten in een ruimtelijke representatie bij elkaar horen. Een andere techniek om relaties te verzamelen is de “inferential flow analysis”. Bij deze techniek wordt in tegenstelling tot de vorige, een gewicht gegeven aan de relaties tussen de objecten. Het gewicht krijgt een waarde tussen -1.00 en +1.00. Uitgangspunt van deze methode is dat tussen objecten wel een kwantitatieve relatie bestaat.

3.4 Generiek model expertsysteem ConsulBrain

Om een generiek model op te stellen van het ConsulBrain expertsysteem wordt het GeoBrain model uit paragraaf 2.2.3 vertaald naar de generieke onderdelen van een expertsysteem van Guida e.a. (1995).



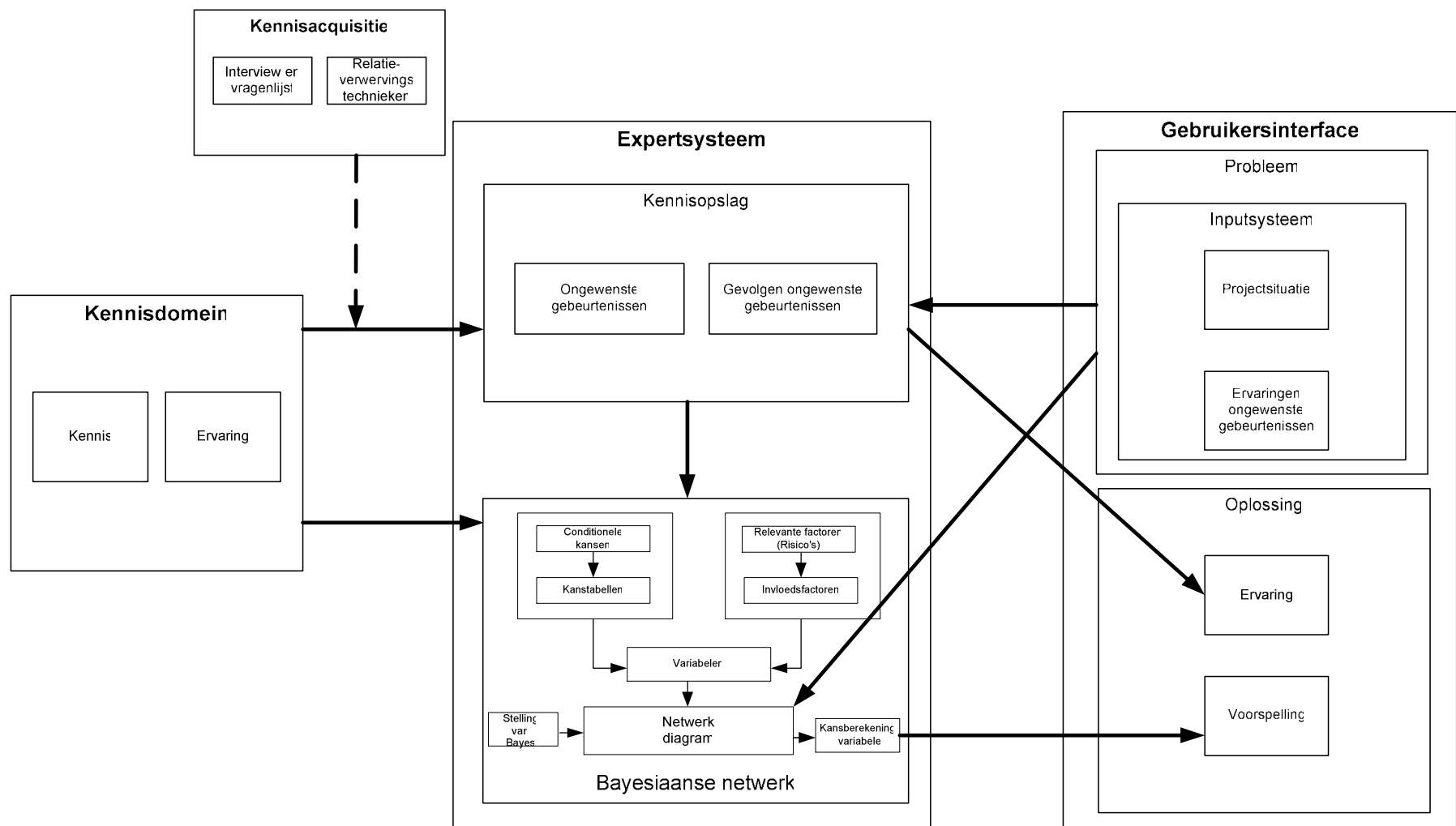
Figuur 3.9: ConsulBrain-GeoBrain en generiek expertsysteem



Figuur 3.10: generiek expertsysteem ConsulBrain

Het generiek model in figuur 3.10 bevat de volgende onderdelen uit de theorie van expertsystemen:

- Een input systeem dat data en informatie verzameld;
- Een centrale opslagplaats van verschillende kennisbronnen;
- Kennis wordt vervolgens ontwikkeld door het toepassen van kunstmatige intelligentie, waarmee bepaalde antwoorden kunnen worden verkregen in onzekere situaties;
- Een output systeem dat kennis verspreid en communiceert aan werknemers, die het dan terugkoppelen.
- Het maken en verklaren van geschikte beslissingen in deterministische en stochastische situaties. Deterministische problemen kunnen worden geformuleerd door gebruik te maken van een set regels, gerelateerd aan aantal gedefinieerde objecten. De conclusies van deze expertsystemen zijn daarom gebaseerd op logische redeneringen. In stochastische problemen geeft een expertsysteem een oplossing in een onzekere situatie aan de hand van methoden uit de kansberekening.
- Kennisacquisitie middels interviewen en observeren van deskundigen. Daarnaast kunnen bepaalde relatie-verwervingstechnieken worden gebruikt om relaties tussen objecten in een kennisdomein op te sporen. Een van die technieken is de techniek van “drawing closed curves”, waarin objecten van een kennisdomein ruimtelijk te representeren zijn. De expert geeft door middel van gesloten lijnen aan welke objecten in een ruimtelijke representatie bij elkaar horen. Een andere techniek om relaties te verzamelen is de “inferential flow analysis”. Bij deze techniek wordt in tegenstelling tot de vorige, een gewicht gegeven aan de relaties tussen de objecten. Het gewicht krijgt een waarde tussen -1.00 en +1.00.



Figuur 3.10: generiek expertsysteem ConsulBrain

4 Kwaliteit

Het doel van ConsulBrain is om de kwaliteit van consultancy te beheersen. Uit de voorgaande hoofdstukken zijn de onderdelen voor het model behandeld met betrekking tot GeoBrain en expertsystemen. Dit hoofdstuk zal antwoord geven hoe kwaliteit wordt beheerst over het algemeen en in de consultancy specifiek. De conclusies hiervan worden gebruikt als bouwstenen voor het ConsulBrain model.

4.1 Karakteristieke kwaliteitszorg

4.1.1 Kwaliteit in de kennisintensieve dienstverlening

GeoDelft biedt kennisintensieve dienstverlening aan op de markt. Onder kennisintensieve dienstverlening wordt verstaan (Maas, 1995):

“Het verlenen van diensten door personen die geacht worden door langdurige opleiding en/of ervaring verkregen specifieke competentie te bezitten in een bepaald kennisgebied en over de vaardigheden te beschikken om deze kennis in de praktijk toe te passen.”

In de huidige economische situatie, waarin de concurrentie toegenomen is en de klanten kritischer zijn, wordt steeds meer aandacht besteed aan kwaliteit.

Klanten hebben tegenwoordig een ruime keuze aan aanbieders van diensten. Bij het verkrijgen van opdrachten is in een dergelijke concurrerende markt voor de dienstverlener erg belangrijk om de klant ervan te overtuigen dat hij datgene krijgt waaraan hij echt behoefte heeft. Volgens Maas (1995) is de tijd voorbij dat een bepaald imago van de professional genoeg was om de kwaliteit van zijn dienstverlening aan te tonen. Het bewijzen van de kwaliteit van een dienst is echter niet eenvoudig. De immateriële elementen van de kennisintensieve dienstverlening maakt het moeilijk om de kwaliteit te bewijzen. Maas (1995) geeft een aantal kenmerken van deze immateriële elementen:

- Ontastbaarheid
Het uiteindelijke resultaat van de dienstverlening kan voor de aankoop van de dienst door de consument niet worden waargenomen. Bij professionele dienstverlening is de onzekerheid extra groot omdat de klant soms zelfs achteraf niet de kwaliteit van het werkresultaat kan beoordelen.
- Klantspecifiek
Diensten zijn specifiek, waardoor het uiteindelijke resultaat van de dienstverlening van geval tot geval verschilt.
- Onscheidbaarheid
De productie en de consumptie van een dienst vallen samen omdat de klant actief participeert in het dienstverleningsproces.
- Vergankelijkheid
Diensten kunnen slechts op bestelling worden geproduceerd, waardoor bezettingsproblemen kunnen ontstaan bij schommelingen van de vraag naar een dienst.

Juiste invulling van kwaliteitszorg kan voor bedrijven een krachtig concurrentie middel zijn. Neijzen e.a. (1989) concluderen zelfs dat alleen concurrentie op basis van kwaliteit perspectief biedt en daarom kwaliteitszorg het enige goed bruikbare concurrentiewapen is in de dienstverlenende sector.

Andere concurrentie middelen, zoals het plegen van innovaties en prijsverlagingen geven een dienstverlenende organisatie geen of slechts korte tijd voorsprong op andere dienstverlenende organisaties. Vooral prijsconcurrentie is een gevaarlijk concurrentiewapen, omdat de consument de kwaliteit van een dienst voor een groot gedeelte afleidt uit de hoogte van de prijs. Neijzen e.a. (1989) beweren zelfs dat alleen door het verlenen van een dienst met een

hoge kwaliteit een dienstverlenende organisatie zich kan onderscheiden van een andere dienstverlenende organisatie.

Kwaliteitszorg wordt in organisaties geconcretiseerd door middel van kwaliteitssystemen.

Welke invloed een kwaliteitssysteem kan hebben op de kwaliteit van een kennisintensieve dienstverlening wordt door Maas (1995) beschreven vanuit drie berokkenende actoren in de dienstverlening.

Een kwaliteitssysteem heeft invloed op:

- Kwaliteit vanuit de klant;
- Kwaliteit van de dienstverlenende organisatie;
- Kwaliteit van de professional.

Kwaliteit van een kennisintensieve dienst vanuit klantpunt wordt als volgt gedefinieerd:

“De kwaliteit van een product of een dienst, intern of extern geleverd, is de mate waarin het geheel van eigenschappen voldoet aan de gebruikersverwachtingen van de klant, begrensd door de prijs die hij wil betalen en de levertijd die hij wil accepteren.” (Maas, 1995)

Het doel van kwaliteitszorg spreekt duidelijk uit deze definitie. Het gaat er niet om perfectie te leveren, maar het gaat erom klanten optimale kwaliteit te bieden binnen de beperkingen die zij er zelf aan te stellen. (Maas, 1995)

De rol van een kwaliteitssysteem kan hier een hulpmiddel zijn bij:

- Het winnen van het vertrouwen van de klant door het dienstverleningsproces te beschrijven, waardoor het werk inzichtelijker wordt. Hierdoor wordt het mogelijk enigszins concrete producten te definiëren, waardoor de onzekerheid bij klanten gedeeltelijk weg wordt genomen.
- Het opbouwen en onderhouden van een goede vertrouwensrelatie met de klant, tijdens en na afloop van het uitvoeren van een opdracht.

Het besturen van een professionele dienstverlenende organisatie is niet eenvoudig. Het voortbrengingsproces van de dienstverlening speelt zich voornamelijk af in de hoofden van de professionals. De professionals zullen zich voornamelijk zelf moeten besturen en kunnen daarvoor gebruik maken van een aantal hulpmiddelen om hun werk te plannen, te evalueren en bij te sturen. Maar behalve dat hebben zij ook behoefte aan sturing van bovenaf. (Maas, 1995)

Een kwaliteitssysteem beïnvloedt de volgende kwaliteitsaspecten van professionele organisaties:

- Het intern functioneren van medewerkers. Het geven van een duidelijke structuur en een zekere standaard voor kwaliteit aan de professionals.
- De optimalisering van het gebruik van beroepskennis en interne ervaring. In een snel veranderende wereld moet steeds opnieuw de meest geschikte koppeling worden gevonden tussen de bij de professionals aanwezige kennis en ervaring en de behoeften van de klant.

De kwaliteit van de individuele professionals is bepalend voor de kwaliteit van de organisatie.

Een kwaliteitssysteem voor een professionele organisatie zou dus een bijdrage moeten leveren aan het zorgen voor kwalitatief optimaal personeel. (Maas, 1995)

Een kwaliteitssysteem zou een hulpmiddel moeten zijn voor:

- Werving en selectie voor de juiste persoon op de juiste plek;
- Functioneringsgesprekken;
- Onderlinge toetsing van werkresultaten, die voor de klant bestemd zijn;
- Opleiding en kennis;
- Beschikbaar stellen van faciliteiten.

4.1.2 Typologie kwaliteit per soort werk

Om de zorg voor kwaliteit beter op maat te kunnen snijden, hebben Wijchers e.a. (1992) de karakteristieke eigenschappen en het voortbrengingsproces van het werk bestudeert. Daarbij onderscheidde ze twee dimensies in het voortbrengingsproces:

1. De mate waarin de problemen in het werk analyseerbaar zijn (eenvoudig versus moeilijk werk);
2. De mate waarin uitzonderingen in het normale werk voorkomen (standaard uitkomsten versus maatwerk uitkomsten).

Wijchers e.a. (1992) hebben vervolgens deze twee dimensies gecombineerd, waarmee met behulp van het werk van Mintzberg (1979) een schema is opgesteld. Dit schema is in figuur 4.1 afgebeeld, waarin vier soorten werk zijn te onderscheiden:

1. **Specialistisch werk:**
Kenmerkend voor dit soort werk is een hoog opleidingsniveau. De specialist bepaalt voor een groot deel welke dienst wordt geleverd. De uitvoering van routinematige deeltaken kan daarna soms gedelegeerd worden. De specialist beschikt over schaarse kennis en kunde die een sterke positie verschaffen in werkrelaties met anderen.
2. **Routinematig werk:**
Kenmerkend is dat een relatief laag opleidingsniveau voldoet. De uitvoering van het werk is sterk procedureel geregeld, de hiërarchische coördinatie is vooral controlerend van aard ten aanzien van procedures en taken. Het werk kan door velen worden uitgevoerd met weinig leertijd, waardoor de beloning laag is en het verloop vaak hoog is.
3. **Ambachtelijk werk:**
Kenmerkend is dat meestal weinig meer opleiding is vereist dan voor het routinematige werk. De uitvoering van het werk gebeurt zelfstandig of in teams. De klant bepaalt in hoge mate welke dienst wordt geleverd. De hiërarchische coördinatie is verder begeleidend van aard en controlerend op het gebied van resultaten.
4. **Professioneel werk:**
Kenmerkend is dat een hoog opleidingsniveau nodig is voor de uitvoering van de taken. De uitvoering van het werk gebeurt zelfstandig of in wisselend samengestelde projectteams. De dienst komt in intensieve samenwerking met de afnemer tot stand. Hiërarchische sturing is beperkt of niet mogelijk.



Figuur 4.1: vier soorten werk

Het model helpt om kenmerkende verschillen in het werk te onderkennen en te benoemen. Tevens helpt het model bij het bepalen welke vorm van kwaliteitszorg nuttig is bij een soort werk.

Volgens Mintzberg (1979) zijn er vijf manieren om activiteiten te coördineren:

1. Samenwerking;
2. Directe leiding;
3. Vastlegging van de werkprocessen;
4. Vastlegging van de resultaten;
5. Vastlegging van deskundigheid.

Mintzberg (1979) stelt vast dat als de coördinatiemechanismen goed werken, dit dan leidt tot het beheersen van het voortbrengingsproces.

Om topkwaliteit te leveren is het noodzakelijk om kwaliteitszorg laag voor laag op te bouwen. De opbouw van topkwaliteit kent drie opeenvolgende niveaus die op elkaar aansluiten (Wijchers e.a., 1992):

1. Fundament voor kwaliteit;
2. Uitbreiding kwaliteit;
3. Topkwaliteit.

1. Het eerste niveau van kwaliteitszorg verschaft een fundament voor het kunnen uitvoeren van het werk op een kwalitatief aanvaardbaar basisniveau. Het zijn de bouwstenen die uit de basisregels naar voren komen als het meest essentieel voor een werksoort. Een voorbeeld is het standaardiseren en borgen van routinematig werk;
2. Het tweede niveau wordt gevormd door de bouwstenen die, gezien de basisregels, voor de hand liggen om de kwaliteit van het werk verder uit te bouwen. Dit zijn de bouwstenen die indirect bijdragen aan een goede kwaliteit van het kernproces;
3. Het derde niveau geeft de meest ongewone en verrassende bouwstenen voor kwaliteitszorg aan. Deze vorm van kwaliteitszorg is gericht op de aanvullende aspecten van het werk. Het gaat bijvoorbeeld om de specialistische aspecten van ambachtelijk werk of om de routinematige facetten van professioneel werk.

Volgens Wijchers e.a. (1992) zijn het juist deze bouwstenen die het verschil kunnen maken tussen kwaliteit en topkwaliteit. Hoe deze topkwaliteit voor de verschillende soorten werk is opgebouwd, wordt beschreven in onderstaande tabel 4.1 (Wijchers e.a., 1992).

<p><u>Specialistisch werk</u></p> <p>1. Fundament voor kwaliteit</p> <ul style="list-style-type: none"> • Deskundigheidsbevordering en bewaking. <p>2. Uitbreiden kwaliteit via</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ontwikkelen van en werken volgens erkende methoden en werkwijzen; • Ontwikkelen en beoordelen van communicatieve vaardigheden; • Versterken van operationeel (project) leiderschap. <p>3. Topkwaliteit door</p> <ul style="list-style-type: none"> • Klantenbenadering en contractaanpak verbeteren. 	<p><u>Professioneel werk</u></p> <p>1. Fundament voor kwaliteit</p> <ul style="list-style-type: none"> • Intensieve communicatie; • Ontwikkelen en beoordelen van communicatieve vaardigheden; • Deskundigheidsbevordering en bewaking; • Klantenbenadering en contractaanpak. <p>2. Uitbreiden kwaliteit via</p> <ul style="list-style-type: none"> • Versterken van opdrachtleiders-vaardigheden <p>3. Topkwaliteit door</p> <ul style="list-style-type: none"> • standaardiseren - databank voor 'herhaalbare' producten, diensten, methoden en kennis; - projectmanagement systematiek.
<p><u>Routinematig werk</u></p> <p>1. Fundament voor kwaliteit</p> <ul style="list-style-type: none"> • werken volgens erkende, efficiënte methoden en werkwijzen (procesbeheersing, kwaliteitsborging) <p>2. Uitbreiden kwaliteit via</p> <ul style="list-style-type: none"> • versterken van operationele managementvaardigheden <p>3. Topkwaliteit door</p> <ul style="list-style-type: none"> • heldere overlegstructuur en ontwikkeling van communicatieve vaardigheden • aanboren en vergroten deskundigheid door zelf analyseren en verbeteren van het werk • (interne) klantenbenadering 	<p><u>Ambachtelijk werk</u></p> <p>1. Fundament voor kwaliteit</p> <ul style="list-style-type: none"> • actieve klantenbenadering en transparante contractaanpak <p>2. Uitbreiden kwaliteit via</p> <ul style="list-style-type: none"> • heldere overlegstructuur en ontwikkelen en beoordelen van communicatieve vaardigheden • werken volgens efficiënte procedures en systemen • versterken van operationeel management <p>3. Topkwaliteit door</p> <ul style="list-style-type: none"> • vak- en marktkennis om te kunnen adviseren en innoveren

Tabel 4.1: opbouw kwaliteit per soort werk

4.2 Begrippen en opvattingen over kwaliteit

Het doel van ConsulBrain is om de kwaliteit van consultancy te beheersen. Om dit te bereiken, moeten eerst de elementen van kwaliteitsbeheersing in het model worden toegepast.

Over het begrip kwaliteit wordt in de literatuur op verschillende manieren benaderd. Om een definitie van kwaliteit op te stellen voor dit onderzoek, worden eerst behandeld wat in de literatuur erover wordt beschreven. Een aantal definities voor kwaliteit die in omloop zijn:

- Kwaliteit is de mate waarin iets geschikt is om voor een bepaald doel gebruikt te worden (Van Dale, 2002);
- Kwaliteit is producten leveren die niet terugkomen, aan klanten die wel terugkomen (www.tql.nl, 2004);
- Het geheel van eigenschappen en kenmerken van een product of dienst dat van belang is voor het voldoen aan vastgelegde of vanzelfsprekende behoeften (NNI, 1994).

Wat uit deze definities opvalt, is dat een definitie afhankelijk is van de optiek waaruit men het begrip kwaliteit gebruikt. De eerste twee definities beschrijven kwaliteit vanuit het oogpunt van de eindgebruiker, die kwaliteit ervaart wanneer bepaalde behoeften effectief kunnen worden vervuld. Bij de laatste definitie staat de productiefase meer centraal. Om een bepaalde kwaliteit te leveren, moet het product eerst aan bepaalde eigenschappen en kenmerken voldoen. Deze worden in het productieproces bepaald.

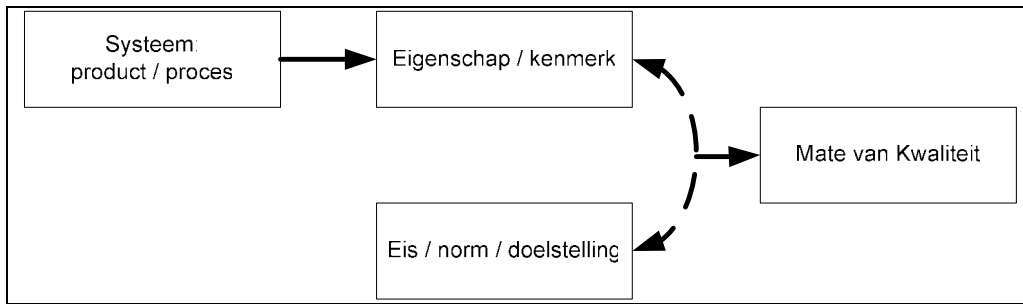
Garvin (1984) heeft dit onderkend en heeft de vijf invalshoeken van kwaliteit bedacht. Hij vond dat het onmogelijk is om een eenduidige definitie van kwaliteit op te stellen. Om toch enige orde te scheppen heeft hij dus de volgende invalshoeken beschreven:

De vijf invalshoeken voor kwaliteit (Garvin, 1984):

1. De filosofische of transcendentale benadering, waarin kwaliteit niet kunt omschrijven maar alleen ervaren. Dit is de subjectieve manier om bijvoorbeeld naar kunst te kijken.
2. De klantgerichte of gebruikersbenadering, waarin een product of dienst de hoogste kwaliteit heeft als het op de beste manier de behoefte van de klant kan voldoen.
3. De productbenadering, waarin kwaliteit de mate is van de aanwezige kenmerk of eigenschap in een product of dienst. Deze benadering gaat uit dat kwaliteit objectief meetbaar is.
4. De procesbenadering, waarin een proces de hoogste kwaliteit bezit, als het producten of diensten voortbrengt die onmiddellijk aan de eisen voldoen.
5. De waardegerichte benadering, waarin een kwaliteitsproduct een bepaalde waarde en prijs bezit die overeenkomen met de mening van de klant. Een product heeft de prijs op het niveau van de kwaliteit die het uitstraalt.

De eerder beschreven definities geven dus respectievelijk een gebruikersbenadering en een productbenadering weer. Dit onderzoek richt zich in eerste instantie op het kwalitatief voortbrengen van een dienst. Dit betekent dat vanuit de invalshoeken van Garvin (1984) vooral de product- en procesbenadering worden gebruikt. Dit betekent vervolgens dat het ConsulBrain model een meetbare waarde moet kunnen geven van kwaliteit en dat daarnaast processen een centrale rol spelen.

Een definitie die passend is voor ConsulBrain wordt in de NEN-norm ISO 9000 (2000) beschreven. Hierin is kwaliteit de mate waarin een geheel aan eigenschappen van een systeem voldoet aan eisen.



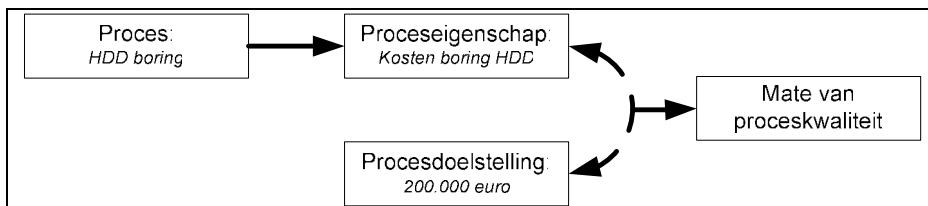
Figuur 4.2: kwaliteit volgens NEN-norm

Een systeem kan een product of een proces zijn:

- Een product is het resultaat (de output) van een proces. Een product kan ook een dienst zijn.
- Een proces is een geheel van samenhangende of elkaar beïnvloedende activiteiten dat input omzet in output. Input kan gesplitst worden in verbruikte grondstoffen en mensen en middelen, die niet verbruikt zijn.



Figuur 4.3: productkwaliteit



Figuur 4.4: proceskwaliteit

Een product of proces wordt getypeerd door twee termen:

- De term eigenschap of kenmerk wordt gebruikt voor de huidige situatie.
- De term eis, norm of doelstelling wordt gebruikt voor de gewenste situatie.

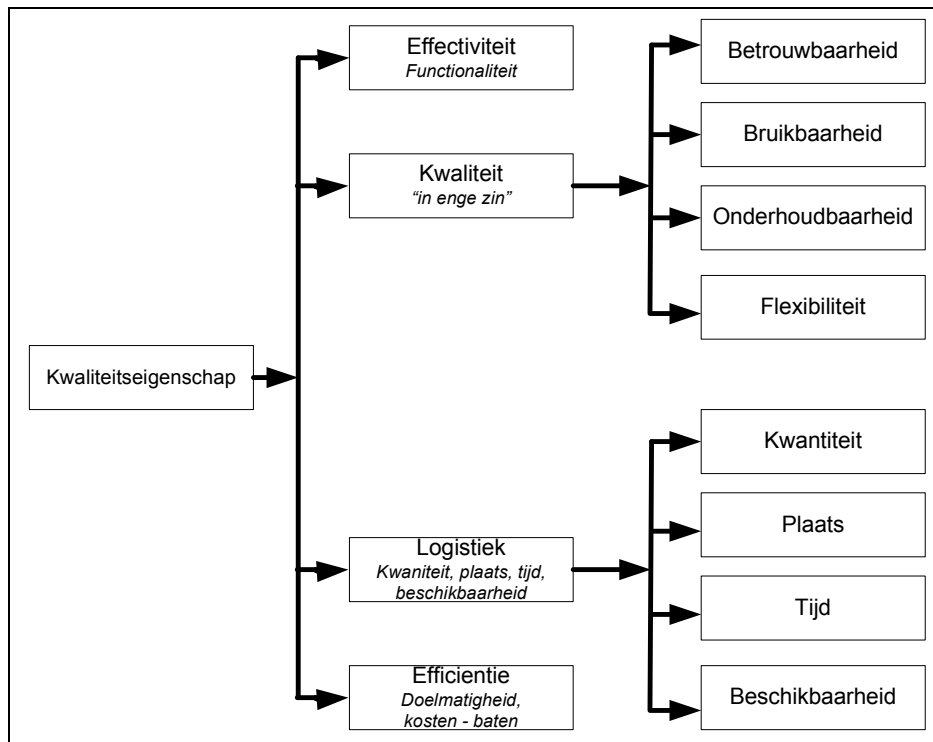
We kunnen dus spreken van product- en van proceskwaliteit. Het verschil tussen de kwaliteitsbegrippen is dat productkwaliteit over de functie en constructie van het product gaat. Dit geeft meer een statisch eigenschap, omdat het een oordeel geeft van het eindproduct waardoor veranderingen en verbeteringen niet meer mogelijk zijn. Proceskwaliteit gaat meer om de totstandkoming van een product of dienst. Dit geeft een dynamische eigenschap omdat een proces continu te veranderen of te verbeteren is.

De eigenschappen en eisen om de mate van kwaliteit te bepalen, zijn onder te verdelen in vier categorieën (Nieuwenhuis, 2003):

1. Het begrip effectiviteit komt overeen met de functie uit de systeemleer en geeft aan in welke mate het systeem voldoet aan zijn functie in de omgeving.
2. Het begrip kwaliteit (in enge zin) wordt gebruikt voor begrippen die aangeven “hoe goed” of “tot in hoeverre” de functie moet werken. Er worden vier dimensies onderscheiden:
 - Betrouwbaarheid (hoe lang blijft de functie werken);
 - Bruikbaarheid (is de functie eenvoudig aan te leren of te gebruiken);
 - Onderhoudbaarheid (is de functie eenvoudig te herstellen bij een storing);
 - Flexibiliteit (is het systeem ook voor andere functies inzetbaar).

3. Logistieke aspecten vormen de derde groep kwaliteitseigenschappen: is het systeem in de juiste hoeveelheid, op de juiste plaats, op de juiste tijd en met de juiste beschikbaarheid aanwezig? Deze eigenschappen worden vaak uitgedrukt in:
 - Kwantiteit;
 - Plaats;
 - Tijd;
 - Beschikbaarheid.

4. De laatste kwaliteitseigenschap is efficiëntie. Het gaat hier om de vraag wat het systeem kost (welk offer moet je doen om het te krijgen). Deze eigenschap wordt vaak uitgedrukt in geld.



Figuur 4.5: kwaliteitseigenschappen

Nieuwenhuis (2003) heeft voor alle onderscheiden kwaliteitseigenschappen een vertaling gemaakt naar product- en proceskwaliteit:

<u>Kwaliteitseigenschap</u>	<u>Verdeling</u>	<u>Product</u>	<u>Proces</u>
Effectiviteit: Doeltreffendheid = Functionaliteit.		De mate waarin een product voldoet aan de geplande functie.	De mate waarin een proces de geplande activiteiten realiseert en de geplande resultaten behaalt.
Kwaliteit: In enge zin; met een kleine k.	<u>Betrouwbaarheid</u>	De mate waarin een product blijft voldoen aan geplande functie.	De mate waarin proces blijft voldoen aan geplande functie.
	<u>Bruikbaarheid</u>	De mate waarin de functie van een systeem gebruikersvriendelijk is.	De wijze waarop een klant bejegend wordt.
	<u>Onderhoudbaarheid</u>	De mate waarin constructie herstel mogelijk maakt bij weigerende functie.	De mate waarin proces te herstellen is bij weigerende levering.
	<u>Flexibiliteit</u>	De mate waarin product inzetbaar is voor andere functies.	Vermogen van een proces om middelen in te zetten als antwoord op veranderende omstandigheden. Er zijn twee soorten flexibiliteit: <u>Mix flexibiliteit:</u> mate waarin voldaan kan worden aan verschuiving vraag ene naar andere product. <u>Volume flexibiliteit:</u> mate waarin voldaan kan worden aan een variatie in de gevraagde aantallen productie per tijdseenheid.
Logistiek: Hoeveelheid, plaats, tijd, beschikbaarheid.	<u>Kwantiteit</u>	De mate waarin product in de juiste hoeveelheid aanwezig is.	De mate waarin proces de juiste hoeveelheid levert.
	<u>Plaats</u>	De mate waarin product op de juiste plaats aanwezig is.	De mate waarin een proces op de juiste plaats levert.
	<u>Tijd</u>	De mate waarin het systeem op de juiste tijd aanwezig is.	Mate waarin proces op de juiste tijd levert c.q. tijdig kan inspelen op een. De mate waarin het proces voldoet aan fase-doorlooptijden.
	<u>Beschikbaarheid</u>	De mate waarin het systeem beschikbaar is.	De mate waarin een proces beschikbaar is voor levering.
Efficiëntie: Doelmatigheid = Productiviteit (baten–kosten = marge.	<u>Kosten</u>	De kosten van een product, inclusief de ontwikkeling- en verwervingskosten en de kosten van beheer. Verhouding tussen baten van het product en de kosten.	Verhouding tussen behaalde resultaten en verbruikte middelen van een proces.

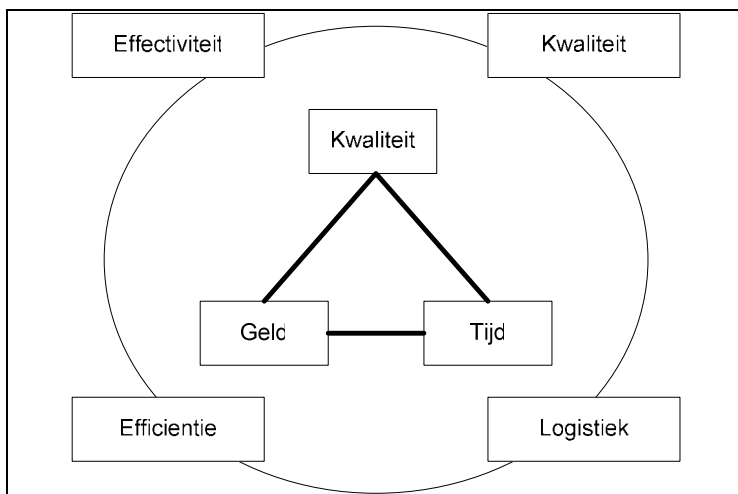
Tabel 4.2: verschil tussen product- en proceskwaliteit

Het eerder genoemd verschil tussen beide begrippen geeft vervolgens ook aan wat het nadeel is van het testen van productkwaliteit ten opzichte van proceskwaliteit. Het testen van de productkwaliteit gebeurt namelijk aan het einde van een proces aan de hand van een meetbare waarde voor kwaliteit. Hierdoor zijn bepaalde veranderingen aan de kwaliteit van een product niet meer mogelijk.

Daarentegen zal het streven naar proceskwaliteit uiteindelijk vanzelf betere kwaliteit leveren. Men kan als het ware anticiperen in een voortbrengproces om tot een bepaalde kwaliteit te komen.

Volgens Nieuwenhuis (2003) is hierdoor de nadruk in de laatste jaren verschoven van het testen van productkwaliteit naar het testen van proceskwaliteit.

Daarnaast wordt door Nieuwenhuis (2003) beschreven dat de kwaliteitseigenschappen invloed op elkaar hebben. Deze correlatie wordt beschreven in een zogenaamde duivelsdriehoek. Een projectresultaat wordt namelijk meestal beschreven in termen van kwaliteit, geld en tijd. Deze projectdoelstellingen hebben vervolgens invloed op de kwaliteitseigenschappen van een product of dienst. Minder tijd voor een project kan bijvoorbeeld leiden tot mindere kwaliteitseigenschappen, waardoor de kwaliteit van een product ook minder wordt.



Figuur 4.6: correlatie tussen kwaliteitseigenschappen

Kwaliteit van consultancy kan gezien worden als een productkwaliteit maar ook als een proceskwaliteit. Met ConsulBrain wordt getracht om op bepaalde problemen te anticiperen, zodat het niet nodig is om achteraf te corrigeren. Daarnaast zal ConsulBrain aan de hand van een Bayesiaanse model tot een statistisch getal komen, dat gezien kan worden als een soort kwaliteitswaarde. In hetzelfde model zullen de correlaties tussen de kwaliteitseigenschappen worden aangetoond.

Doelstellingen ConsulBrain:

- Leveren van meetbare waarde voor kwaliteit;
- Processen beheersen;
- Rekening houden met correlatie tussen kwaliteitseigenschappen.

4.3 Kwaliteitsbeheersing

ConsulBrain heeft als doel om kwaliteit te beheersen. Processen spelen een belangrijke rol bij de kwaliteit van een product of dienst. Dit zal betekenen dat kwaliteitsbeheersing inherent staat voor procesbeheersing en dat deze beheersing op een bepaalde manier vast moet worden gelegd in een systeem als ConsulBrain. De literatuur over kwaliteitsbeheersing bevestigt dit ook, waarin begrippen als kwaliteitsbeheersing, kwaliteitssysteem en procesbeheersing in elkaar verweven zijn. De volgende beschrijvingen uit de literatuur geven dit aan:

- De kern van elke kwaliteitssysteem is procesbeheer. Breng eerst de processen in kaart en documenteer de procedures die kwaliteit van het procesbeheer moeten garanderen (www.tql.nl);
- Een kwaliteitssysteem is een georganiseerde zorgvuldigheid van samenwerken. Om systematische kwaliteit te leveren, zal een bedrijf van tevoren moeten nadenken hoe die kwaliteit bereikt kan worden (www.adburdias.nl);
- Het beheersen houdt in: proberen afwijkingen al bij voorbaat te voorkomen. Als er toch een afwijking plaatsvindt dan (www.adburdias.nl):
 - Moet worden voorkomen dat de klant er last van heeft;
 - Moet de afwijking hersteld worden;
 - Moet de oorzaak gezocht en weggenomen worden, zodat herhaling wordt voorkomen.;
- Een kwaliteitssysteem is een systeem van in kaart brengen van processen en anticiperen hoe kwaliteit kan worden bereikt (Gieskes e.a., 2001);
- Kwaliteitsbeheersing is synoniem met procesbeheersing met betrekking tot de product- of diensteigenschappen (Gieskes e.a., 2001).

Joseph Juran is een van de belangrijke grondleggers van de kwaliteitsbeweging. Hij beschreef drie fundamentele processen, die gericht zijn op kwaliteit. Deze processen vormen samen de zogenaamde Juran-trilogie voor kwaliteitsbeheer van een organisatie (Juran, 1995):

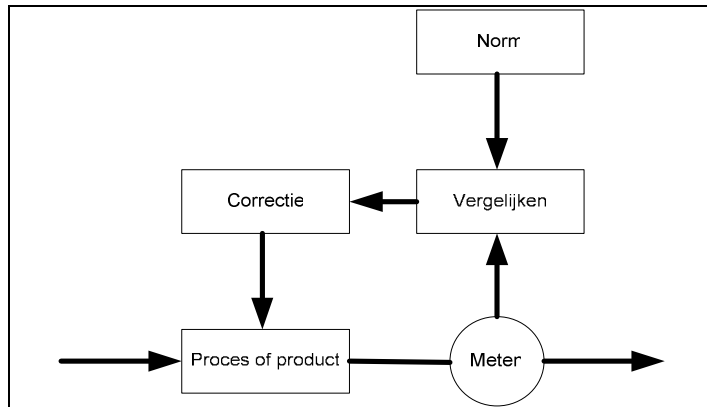
1. Planning van de kwaliteit. Bepaal welke producten te produceren om te voldoen aan de eisen en wensen van de klant. Ontwerp bedrijfsprocessen om deze producten voort te brengen.
2. Kwaliteitsbeheersing. Zet de voortbrengingsprocessen van de organisatie in gang en maak de producten. Het doel is een optimaal verloop van deze processen. Bij grote uitval of verspilling tijdens dit proces moet een verbeterteam de oorzaak opsporen en actie ondernemen om het specifieke probleem te verhelpen.
3. Kwaliteitsverbetering. Het management dient regelmatig doelgerichte actie te ontplooien om de processen als geheel te verbeteren. Dit heeft een sterk projectgericht karakter. Het doel is de chronische verspilling drastisch te verlagen.

Vrijling (1989) beschrijft hoe op een systematische manier kwaliteit kan worden beheerst. Dit gebeurt vervolgens in verschillende deelprocessen van het totale bedrijfsproces.

De gewenste beheersing ontstaat indien op elke fase van het voortgangsproces de volgende activiteiten worden toepast:

1. Het vastleggen van specificaties, streefwaarden, procedures en werkmethoden. Hierbij dienen tevens de in het licht van de uiteindelijke productkwaliteit aanvaardbare toleranties te worden aangegeven. Deze eerste activiteit duidt men wel aan met "normeren".
2. Het meten van de werkelijke waarden en resultaten. Vervolgens het vergelijken van de waarnemingen met de specificaties.
3. Indien nodig het procesverloop of het procesresultaat afkeuren, de afwijking analyseren en de oorzaak corrigeren. Tevens moet een ebstemming worden aangegeven voor de afgekeurde producten. Dit houdt een keuze in tussen aanvaarden in de gegeven vorm, verbeteren of vernietigen.
4. Het registreren van de waarnemingen en de aangebrachte correcties.
5. Het voortdurend streven naar verbetering van de processen en hun resultaten.

Deze beschreven activiteiten worden afgebeeld in onderstaande regelkring.



Figuur 4.7: De kwaliteitsbeheersingsactiviteiten weergegeven als een regelkring

Uit deze bovenstaande beschrijvingen kan worden bevestigd dat voor kwaliteitsbeheersing, procesbeheersing in een bepaalde kwaliteitssysteem een belangrijke rol spelen.

Binnen de kwaliteitsmanagement worden een aantal instrumenten gebruikt om kwaliteit te beheersen. Deze instrumenten worden hieronder kort behandeld.

Stroomschema en IDEF-0 schema

Een stroomschema beschrijft een proces van het begin tot het eind in kleine stapjes. Alle schakels in het proces worden weergegeven door symbolen.

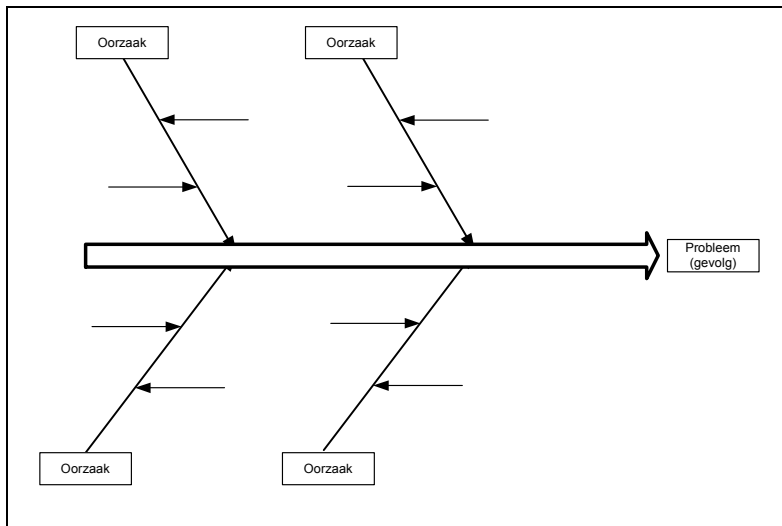
IDEF-0 is een schematechniek die een systeem voorstelt als een netwerk van activiteiten. In een hiërarchisch model worden betrekkelijk eenvoudige symbolen en tekst gebruikt om processen weer te geven. IDEF-0 is een in Amerika ontwikkelde en vrij te gebruiken methode, die goed gebruikt kan worden bij de ontwikkeling van processchema's.

De Pareto analyse

De Pareto analyse is uitgevonden door de Italiaanse wiskundige Pareto die er achter kwam dat het merendeel (ongeveer 80%) van de fouten altijd wordt veroorzaakt door een minderheid (ongeveer 20%) aan factoren. Door deze analyse uit te voeren kun je uit een grote verscheidenheid aan kwaliteitsafwijkingen de fouten opsporen die het ernstigst zijn, doordat ze het meest voorkomen of het meeste geld kosten.

Het visgraat diagram

Nadat met de Pareto analyse is vastgesteld wat de meest voorkomende of duurste problemen zijn, kan met behulp van het visgraat diagram worden geanalyseerd waardoor deze problemen worden veroorzaakt. Het doel van het visgraat diagram is om een compleet overzicht te geven van alle oorzaken die tot een bepaald probleem kunnen leiden en om de samenhang tussen deze oorzaken aan te geven. Op deze manier kan het diagram dus een hulpmiddel zijn bij het zoeken van de juiste weg voor het oplossen van problemen die van invloed zijn op de kwaliteit.



Figuur 4.8: Een visgraat diagram

Om een visgraat diagram op te stellen moet eerst vastgesteld worden wat het probleem is. Dit probleem wordt rechts op een papier genoteerd. De kern van het diagram wordt gevormd door een grote horizontale pijl die naar dit probleem wijst. Deze pijl staat voor het totaal van alle oorzaken van het probleem. Door vanuit het probleem terug te kijken worden vervolgens de hoofdoorzaken van het probleem achterhaald. Deze hoofdoorzaken worden als zijtakken van de grote pijl uitgezet. We zien nu de vorm van een visgraat ontstaan, waarbij de hoofdoorzaken van het probleem de graten van zijn. Aan deze graten kunnen weer zijgraten worden gezet waarop de factoren die van invloed zijn op deze hoofdoorzaken worden aangegeven.

4.4 Procesmanagement

In de voorgaande paragrafen is het volgende over kwaliteit van (kennisintensieve) diensten beschreven:

- Volgens procesbenadering invalshoek voor kwaliteit van Garvin (1984):
Als een proces de hoogste kwaliteit bezit, dan brengt het producten of diensten voort die onmiddellijk aan de eisen voldoen.
- Een dienst is het resultaat van een proces. Aandacht voor proceskwaliteit levert vanzelf diensten van betere kwaliteit (NEN ISO 9000, 2000).
- Op de webpagina van www.tql.nl wordt vermeld dat de kern van een kwaliteitssysteem het procesbeheer is. Eerst moeten de processen in kaart worden gebracht en vervolgens moeten de procedures worden gedocumenteerd, die de kwaliteit van procesbeheer garanderen.
- Een kwaliteitssysteem is een systeem van in kaart brengen van processen en anticiperen hoe kwaliteit kan worden bereikt (Gieskes e.a., 2001).
- Kwaliteitsbeheersing is het optimaal verlopen van de voortbrengingsprocessen (Juran, 1995).
- Door het voortbrengingsproces te beschrijven wordt het werk inzichtelijk gemaakt. Hiermee wordt het vertrouwen van de klant gewonnen (Maas, 1995). Kwaliteit is namelijk ook dat wat een klant ervaart.
- Voor werk wat GeoDelft produceert kan men in de tabel van Wijchwers (1992) typeren als specialistisch - professioneel werk. In dezelfde tabel wordt het bereiken van kwaliteit van dat type werk onder andere bepaald door:
 - Het werken volgens erkende methoden en werkwijze;
 - Een database voor “herhaalbare” producten, methoden en kennis.Hierin spelen het vastleggen van kennis, werkwijzen en methoden in processen een grote rol.

Men kan uit bovenstaande concluderen dat in de literatuur het verband tussen het beheersen van processen en kwaliteit wordt beschreven.

In deze paragraaf wordt de theorie achter processen en procesmanagement behandeld. Eerst wordt uiteengezet het waarom van procesmanagement. Vervolgens wordt behandeld hoe processen worden vastgelegd. Uiteindelijk wordt beschreven wat de theorie zegt over procesbeheersing .

4.4.1 Waarom procesmanagement?

Het procesdenken is afkomstig uit de industrie. Al sinds de jaren vijftig werkt men met processen en de werkwijze en procesindeling zijn ondertussen behoorlijk uitgekristalliseerd. De laatste 10 á 15 jaar is het procesdenken ook geïntroduceerd bij de overheid en andere profit en non-profit administratieve fabrieken en dienstverlenende bedrijven (Nieuwenhuis, 2003).

Het is zeer belangrijk om een organisatie zo in te richten dat het de klant van constante kwaliteit kan voorzien. Dat wil zeggen dat een organisatie in grote mate van zekerheid zijn producten kan aanbieden, die telkens overeenkomen met de specificaties. Volgens Nieuwenhuis (2003) is het werken met processen een belangrijke voorwaarde om leverbetrouwbaarheid te kunnen garanderen. Adequaats procesmanagement waarborgt dat er niets vergeten wordt.

Volgens Hardjono e.a. (2001) spelen processen de volgende rol binnen organisatie:

- Door middel van processen vervult de organisatie haar taken, realiseert ze haar doelstellingen en verzekert ze haar bestaansrecht.
- De identiteit van de organisatie en haar onderscheidend vermogen komen het meest in de processen naar voren.
- De ervaringen van de organisatie liggen in de processen besloten.

Volgens Hardjono e.a. (2001) is de centrale vraag bij procesmanagement:

“Hoe steekt het geheel van activiteiten en organisatie-inrichting procesmatig in elkaar en hoe wordt dat bestuurd en beheerst, doorgelicht en verbeterd?”

Met procesmatig wordt bedoeld dat alles met een onderlinge afhankelijkheid en in een bepaalde volgorde verloopt en dat onderscheiden processen naadloos op elkaar aansluiten.

Het managen van processen is ieder afzonderlijk proces voorzien van structurele en gepaste feedback en is daarmee een dynamisch concept met als essentie: verandering door continue verbetering (Hardjono e.a., 2001).

Door “processen” wordt de organisatie in staat gesteld ook werkelijk wat te kunnen doen om haar resultaten te verbeteren; ergens te kunnen ingrijpen als verbetering noodzakelijk is.

Dorr (2002) beschrijft dat door het beschrijven van processen, voorkomen wordt dat het wiel steeds opnieuw wordt uitgevonden. Het proces maakt zichtbaar via welke routines het werk verloopt. Een organisatie bestaat uit een hoeveelheid routines die in feite met elkaar processen vormen. In procesmanagement gaat het om de bewuste keuze om de organisatie via deze processen te sturen en te beheersen. Procesmanagement is volgens Dorr (2002) een manier om naar het werk en het organiseren van werk te kijken.

Een van de belangrijkste doelen van procesmanagement is dus het eenduidig vaststellen van processen. Afhankelijk van het gezichtspunt van de eigen werkplek, zullen processen dus vaak anders worden benoemd. Daarom is het noodzakelijk eerst met de medewerkers die in het proces werken gezamenlijk het proces te benoemen en vast te stellen.

Procesmanagement heeft de volgende voordelen (Nieuwenhuis, 2003):

1. Toename effectiviteit en efficiëntie;
Bij elk proces staat het resultaat voor de klant centraal. Deze invalshoek garandeert effectiviteit door een permanente klantgerichtheid en resultaatgerichtheid binnen alle activiteiten. Naast effectiviteit stijgt ook de efficiëntie. In elk proces wordt de inzet van mensen en middelen afgemeten aan de mate waarop zij bijdrage aan het resultaat voor de klant.
2. Hogere overdraagbaarheid;
Door de eenduidige vastlegging zijn processen ook eenvoudig overdraagbaar. Kennis kan snel en gemakkelijk worden overgedragen, bijvoorbeeld aan nieuwe medewerkers.
3. Beter beheersbaar;
Processen zorgen ervoor dat de organisatie beter beheersbaar is. Het management stuurt op basis van van te voren vastgelegde normen. Processen vormen bovendien de basis voor allerlei vormen van zelfsturing op de werkvloer.
4. Groter lerend vermogen;
Tenslotte versterken processen het lerend en corrigerend vermogen van de organisatie. Door samen processen in kaart te brengen wordt een basis gevormd voor verbeteren. De “best practices” komen aan het licht. Het leert mensen verder kijken dan de eigen werkplek en lokaliseert knelpunten in processen en samenwerking tussen afdelingen. Doordat processen herhalend zijn en de meetresultaten telkens verbeteringen of verslechtingen laten zien, leert de organisatie als vanzelf over haar eigen handelen.

Volgens Hardjono e.a. (2001) heeft het vastleggen van processen de volgende voordelen:

- Het kunnen bepalen van aangrijpingspunten ter verbetering;
- Het kunnen adresseren van feedback;
- Het aantoonbaar maken van het werken conform standaarden en richtlijnen;
- Overzicht geven van de organisatie;
- Het overzichtelijk presenteren en instandhouden van verzamelde kennis en ervaring die de organisatie in al die jaren van haar functioneren heeft opgebouwd;
- Het ontastbare tastbaar maken;
- Analyse kunnen uitvoeren;
- Gedeelde uitgangspunten bereiken;
- Bijdragen aan de continuïteit en betrouwbaarheid van de organisatie;
- Afbakenen van verantwoordelijkheden en bevoegdheden.

Dorr (2002) geeft ten slotte ook aan welke de voordelen zijn van procesmanagement:

- Het maakt de routines zichtbaar;
- Het leert verder te kijken dan de eigen werkplek;
- Het helpt de beste routines te vinden;
- Het maakt routines toegankelijk voor verbetering (eerst weten hoe het zit, dan verbeteren);
- Het leidt daarom tot efficiencyverhoging en effectiviteitsverbetering;
- Het leidt tot een grotere beheersbaarheid (routines vastleggen);
- Het is de basis voor zelfsturing op de werkvloer;
- Het maakt resultaten meetbaar en beïnvloedbaar.

4.4.2 Processen en procesmanagement

Aantal definities:

Processen zijn een aantal volgtijdelijke activiteiten, die gezamenlijk leiden tot een gewenste doelstelling. Bij het managen van processen wordt een organisatie niet langer gezien als een systeem van functies, maar als een systeem van volgtijdelijke activiteiten. Procesmanagement is erop gericht om de prestaties van een proces vast te stellen, te analyseren op knelpunten en op verbeterpunten, om vervolgens verbeteringen aan te brengen (Wending, 1999).

Geurts e.a. (1993) omschrijven procesmanagement als de zorg voor het optimaal verlopen van een proces met als resultaat een product of dienst dat voldoet aan de gestelde eisen.

Procesmanagement heeft dus te maken met het beheersen van processen, waarbij raakvlakken zijn aan te geven met middelen, organisatie, systemen en met mensen en hun betrokkenheid en/of participatie.

De basis van procesmanagement is de organisatie en haar activiteiten. De wijze waarop de activiteiten georganiseerd zijn, kan bijdragen aan kostenbeheersing, veiligheid, milieu, service en daarmee ook aan het brede begrip kwaliteit (Tillema, 2002).

Processen representeren een verzameling geïntegreerde en gecoördineerde activiteiten die nodig zijn om bepaalde goederen te produceren of diensten te verlenen. Procesmanagement tracht de interne en externe klanttevredenheid te verhogen en de concurrentiepositie te verbeteren. Daartoe worden de processen zodanig ingericht, dat elk afzonderlijk proces meetbare input en output heeft en dat door middel van efficiencyverbeteringen de toegevoegde waarde van elk proces stijgt (Tillema, 2002).

Een proces is een geheel van samenhangende of elkaar beïnvloedende activiteiten dat input omzet in output (NEN ISO 900, 2000). Brandt (2003) stelt vast dat in deze definitie van een proces het doel ontbreekt. Hij geeft twee benaderingen:

- Een proces heeft als doel het vooropgestelde beleid te concretiseren of waar te maken;
- Een proces is het transfereren van competentie naar de klanten.

Hardjono e.a. (2001) geven de volgende definitie van processen:
Ordering van activiteiten, dat de start wordt gevormd door input, het proces zelf deze input transformeert tot output, en zodoende waarde toevoegt aan het (deel)product ten behoeve van de klant.

Definities van een proces volgens Dorr (2002):

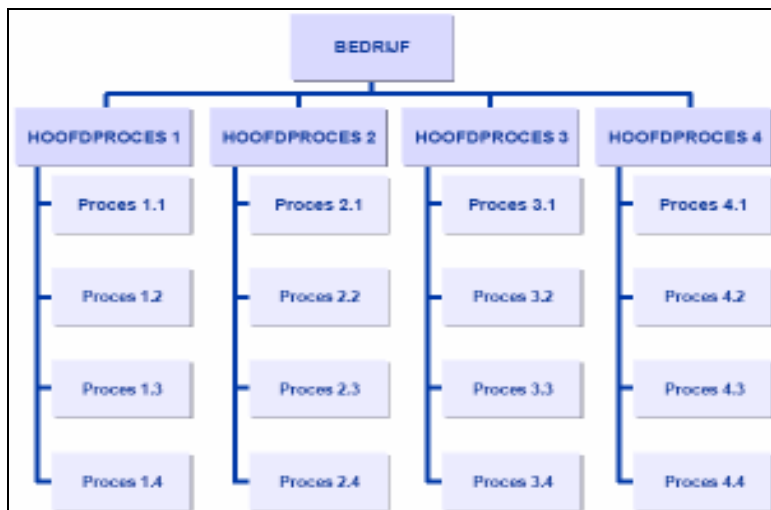
1. Een proces is een verzameling onderling samenhangende middelen en activiteiten die invoer omzetten in uitvoer.
2. Een proces is een aantal activiteiten in een logische volgorde, gericht op het doelbewust totstandkomen van een product of dienst voor een (interne) klant.

Soorten processen:

Processen kunnen op verschillende niveaus van abstractie worden beschreven (Nieuwenhuis, 2003). Het meest gebruikelijk is om onderscheid te maken in:

1. Hoofdprocessen
2. Processen
3. Procedures

Hoofdprocessen verwijzen naar de hoofdfuncties van een organisatie zoals inkoop, productie en verkoop. Hoofdprocessen worden onderverdeeld in processen en in subprocessen, al naar gelang de complexiteit. De verzamelnaam procedures wordt gebruikt voor instructies, voorschriften en protocollen op het niveau van de werkplek. Voor een totaaloverzicht van hoofdprocessen en (sub)processen wordt een hiërarchisch processchema (HPS) gebruikt.



Figuur 4.9: Hiërarchisch processchema (Nieuwenhuis, 2003)

Dorr (2002) onderscheid ook drie niveaus processen om duidelijkheid te scheppen:

1. Hoofdproces: waarvoor staat de organisatie in zijn geheel?;
2. Werkproces: regelt relaties tussen afdelingen en is dus afdelingsoverschrijdend;
3. Instructies: heeft betrekking tot de werkplek, is voorschrijvend en bevat werkvoorschriften.

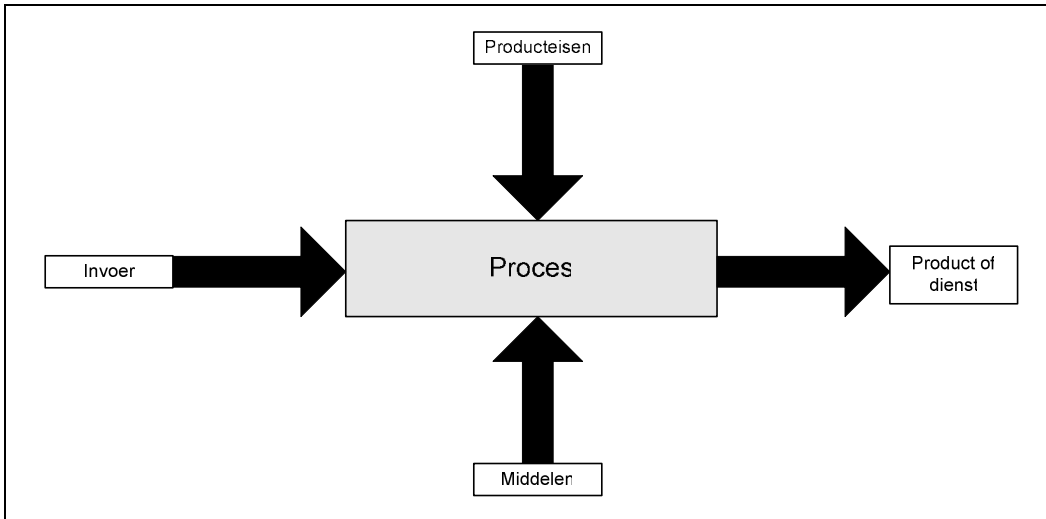
Proceskenmerken:

Kenmerken volgens Dorr (2002):

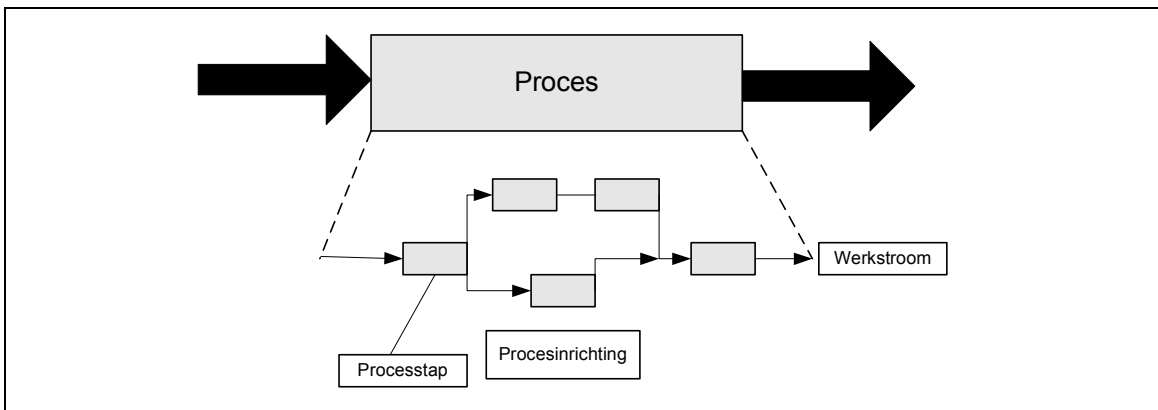
- Het proces bestaat uit een serie opeenvolgende activiteiten;
- Het proces heeft een duidelijk begin en einde en dus ook een input en een output;
- De verschillende activiteiten in het proces voegen steeds een stukje waarde toe;
- Het proces herhaalt zich en is dus enigszins routinematig.

Specifieke kenmerken van processen (Hardjono e.a., 2001):

- **Ordering van activiteiten:**
Het bijeenbrengen van een serie of groep activiteiten die verband met elkaar houden.
- **Ordering naar producten en diensten:**
Het gaat om alle activiteiten, die nodig zijn om een bepaald product of dienst voort te brengen.
- **Volgordelijkheid en afhankelijkheid:**
Het verband tussen de activiteiten wordt stapsgewijs aangegeven en afhankelijkheden worden in de juiste volgorde geplaatst. Zodoende wordt duidelijk welke stappen de voorwaarden vormen voor de overige, en welke stappen dus kritisch zijn voor het verloop van het verdere proces.
- **Vaste structuur:**
Ieder proces kan in drie aspecten worden verdeeld, namelijk: input, transformatie en output.
- **Input:**
Onder Input horen alle middelen, gebeurtenissen en signalen, die een proces nodig heeft om een product voort te brengen. Input geeft de beginsituatie weer en is de aanleiding tot het proces. Dit kan zijn een halffabrikaat dat verwerkt moet worden of informatie die aanleiding geeft handelingen te gaan verrichten.
- **Transformatie:**
Het bewerken van de input tot de uiteindelijke output door het toevoegen van waarde.
- **Output:**
Datgene wat het proces uiteindelijk voortbrengt.
- **Waardetoevoeging:**
Er worden tijd, energie en kosten gespendeerd om de transformatie te doen plaatsvinden. Deze tijd, energie en kosten zijn daarna blijvend opgenomen in het product. Een proces kan worden gezien als een value chain, waarbij iedere stap in het proces bijdraagt aan de totstandkoming van een product of dienst en waarde toevoegt ten opzichte van de voorgaande stappen.
- **Verbruiken van middelen:**
Kapitaal, mensen, tijd, gereedschappen/hulpmiddelen en materiaal zijn resources/middelen, die nodig zijn om de procesprestatie te kunnen verrichten en de input tot output te kunnen transformeren.
- **Raakvlakken en onderlinge afhankelijkheden:**
Doordat processen afgebakend zijn, is er altijd een proces dat eraan voorafgaat, een proces dat erop volgt, een proces dat het bestuurt en een proces dat het ondersteunt.



Figuur 4.10: De producteisen zijn kwaliteitseisen aan het product of de dienst.

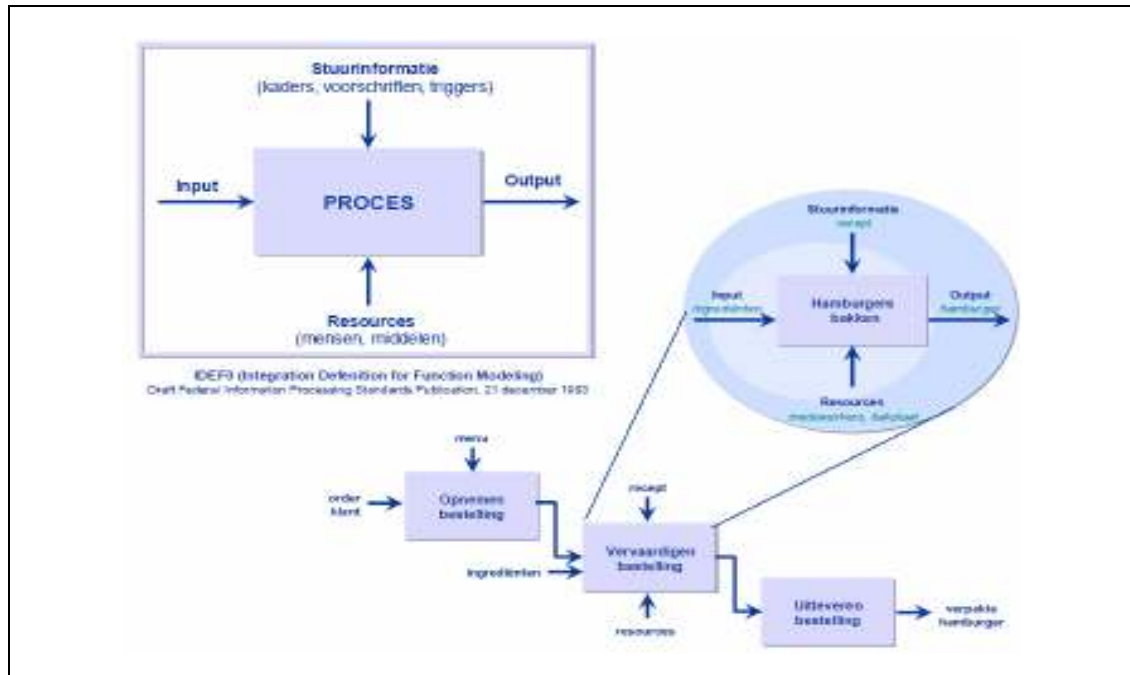


Figuur 4.11: Het proces wordt ingericht, uitgaande van onder andere de producteisen.

4.4.3 Vastlegging processen

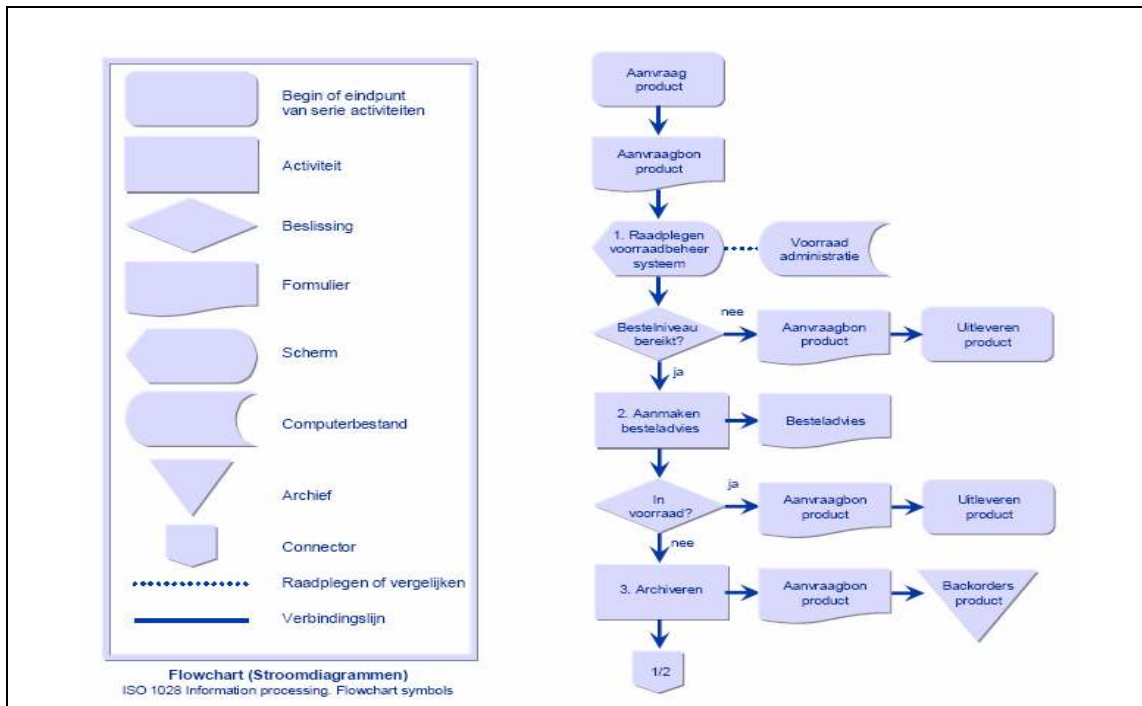
Een beschrijving van het procesverloop splitst het proces in kritische activiteiten of processtappen. Het verloop van het proces moet volgbaar zijn, het begin en einde van het proces moeten duidelijk herkenbaar zijn vastgelegd.

Voor het in kaart brengen van het procesverloop zijn er twee internationale standaardmethodes beschikbaar IDEF0 en Flowcharts (Nieuwenhuis, 2003).



Figuur 4.12: IDEF-0 model (Nieuwenhuis, 2003)

IDEF0 is een functiemodel, waarin globaal de volgorde (van links naar rechts) van activiteiten worden weergegeven. IDEF0 kent geen condities en herhalingsloops. In flowcharts kunnen we de exacte volgorde van activiteiten weergeven (van boven naar beneden), plus condities, databestanden, schermen en documenten. De IDEF0-techniek is door zijn compactheid geschikt voor globale procesontwerpen. Flowcharts zijn uitgebreider en daardoor geschikter voor gedetailleerde procesontwerpen. Beide methodes vullen elkaar goed aan en worden vaak in combinatie gebruikt.



Figuur 4.13: Flowdiagram (Nieuwenhuis, 2003)

Functies IDEF (Hunt, 1996):

- Het uitvoeren van systeemanalyses, procesidentificatie, procesverbetering en procesontwerp op alle procesniveaus. Het IDEF concept kan worden toegepast op alle door verschillende mensen, machines, materialen, computers en informatie samengestelde systemen. Deze systemen zijn een specifieke product of een dienst.
- Gebruiken als aanbeveling voor het integreren van nieuwe processen of verbeteren van bestaande processen.
- Gebruiken voor communicatie met ontwerpers, gebruikers en managers.
- Om het bereiken van overeenstemming binnen een project door gedeelde verstandhouding over de actuele bedrijfsprocessen.
- Vaststellen van een conceptstructuur voor het (her) opstellen van bedrijfsprocessen, bedrijfsanalyses en informatiesystemen.

Het vaststellen van processen gebeurt in de volgende stappen (Hunt, 1996):

1. Verzamelen van informatie;

Relevante informatie wordt verzameld door:

 - Het bestuderen van schriftelijke informatie;
 - Het interviewen van belangrijkste deelnemers;
 - Het analyseren van de beslissingsmomenten.
2. Opstellen van procesmodellen;

Het ordenen en structureren van de informatie die verzameld is in fase 1. Het proces wordt weergegeven met behulp van procesmodellen.
3. Het verkrijgen van feedback interactie.

In deze fase worden de in fase 2 ontwikkelde procesmodellen ter controle voorgelegd aan de eerder geïnterviewde proces experts. In een tweede interview worden eventuele interpretatiefouten uit de procesmodellen gehaald en worden over het hoofd geziene zaken verbeterd.

4.4.4 Beheersen van processen

Bij het beheersen van processen is het bepalend welke processen bepalend zijn voor het succes of juist falen van de organisatie (Hardjono e.a., 2001).

Deze processen worden doorgaans de kritische processen genoemd, gelet op hun afbreukrisico voor de doelstellingen van de organisatie. Hoe kritischer de processen, des te meer risico, des te groter de veiligheidsvoorzieningen. Door Hardjono e.a. (2001) wordt beschreven om een risicoanalyse uit te voeren om te bepalen welke processen in hoeverre kritisch zijn.

In diverse normen voor procesbeheersingsystemen wordt het vastleggen van processen vereist, in relatie tot het afdekken van risico's (Hardjono e.a., 2001). De principes van risicoanalyse zijn heel goed bruikbaar bij het bepalen welke processen kritisch zijn voor de organisatie en voor het bepalen van de mate van besturing en beheersing die op het betreffende proces moeten worden gezet. De essentie is helder te krijgen wat het risico is voor de organisatie als een proces niet beheerst is.

Processen bestaan in feite uit routines, met andere woorden: hetzelfde proces wordt regelmatig herhaald. Dorr (2002) constateert dat het proces in principe nooit elke keer exact hetzelfde verloopt. Ook het resultaat van het proces is niet elke keer precies hetzelfde. Het gaat bij procesmanagement ook erom de variaties in processen terug te dringen.

Sterk persoonsgebonden processen variëren omdat elke persoon het net even anders doet. Het maken van afspraken heeft daarom als doel het resultaat van het proces minder persoonsafhankelijk te maken. Hoeveer de uniformering moet worden doorgetrokken, hangt van het concrete proces af. Als men maar voor ogen houdt dat het erom gaat zoveel mogelijk te garanderen dat elke klant hetzelfde niveau van dienstverlening of hetzelfde product ontvangt.

Beheersing van het proces kunnen op verschillende manieren worden vergroot (Dorr, 2002):

- De bekendste manier is het opstellen van instructies waarin staat hoe iets precies moet gebeuren. Procesbeheersing is ook iets dat de meeste medewerkers het snelst willen vergeten. Juist bij procesbeheersing moet er worden gezocht naar een vorm die medewerkers aanspreekt en het werken in het proces daadwerkelijk eenvoudiger maakt. Vormen van procesbeheersing:
 - Instructie;
 - Checklist;
 - Software applicatie;
 - Detail processchema
 - Voorbeeld.

- Een andere belangrijke manier om een proces te beheersen is om bepaalde punten binnen het proces te meten of alles nog goed gaat. Zo niet, dan moet er worden ingegrepen. In dienstverlenende processen zijn dergelijke metingen echter niet of in ieder geval moeilijk uit te voeren. Het is vaak relevanter om in plaats daarvan simpelweg na te gaan of aan een voorwaarde is voldoen of niet door bijvoorbeeld het laten checken van een collega.

4.5 Kwaliteitsmodellen

ConsulBrain heeft als doel om de kwaliteit te beheersen. In de praktijk bestaan er verschillende soorten kwaliteitsmodellen. Hieronder worden er drie kort beschreven, waarna het ConsulBrain model wordt beoordeeld op overeenkomsten en verschillen met de kwaliteitsmodellen.

4.5.1 GeoQ model (Geosfeer, 2004)

Door GeoDelft het GeoQ concept ontwikkeld voor grondgerelateerde risicoanalyse en risicobeheersing.

GeoQ is een risicogestuurde proces om de kwaliteit (Q) van een project vanuit de geotechniek te waarborgen. GeoQ helpt te bepalen welke geotechnische informatie (data, berekeningsresultaten) in welke fase van het project nodig is voor een succesvol project, gegeven het afgesproken risico- en kwaliteitsprofiel tussen opdrachtgever en opdrachtnemer. Succes kan worden gemeten in de succesfactoren tijd, geld, kwaliteit en imago. GeoQ draagt hiermee bij aan externe kwaliteitsborging en risicomangement. (Geosfeer, 2004)

Risico wordt gedefinieerd als een gebeurtenis die zich al dan niet kan voordoen en die kan leiden tot uitloop van het project, tot kosten overschrijding of tot het niet voldoen aan gestelde kwaliteitseisen. Risico's worden gekwantificeerd door kans en gevolg van optreden van de gebeurtenis te vermenigvuldigen. De oorzaken van risico's worden in twee hoofdgroepen verdeeld: normale onzekerheden en bijzondere gebeurtenissen. (Peereboom e.a., 2004)

Voordelen:

- Gevolgen van geotechnische risico's op tijd, geld, kwaliteit worden inzichtelijk gemaakt;
- Besparingen zijn mogelijk door risicogestuurde ontwerpen;
- Continuïteit in de overdracht van gegevens;
- Heldere risicoverdeling mogelijk;
- Reductie van de faalkosten.

De volgende stappen in het GeoQ proces: (GeoSfeer, 2004)

1. Vaststellen doel risicoanalyse: wat moet bereikt worden, wat is benodigde diepgang en welke informatie is ervoor nodig?
2. Identificatie en structurering van de risico's vanuit alle betrokken partijen op basis van belangen en aspecten die in het project aan de orde zijn;
3. Kwalitatief of kwantitatief selecteren van belangrijkste risico's;
4. Vaststellen van maatregelen ter beheersing van de risico's door reductie van kans op optreden en/of beperking van eventuele gevolgen. Beheersmaatregelen kunnen het best op de belangrijkste risico's worden ingezet (praktische reden). Onderscheid tussen preventieve maatregelen (kans reduceren) en correctieve maatregelen (gevolg reduceren);
5. Evalueren van resulterend risicoprofiel. Is met de mogelijke beheersmaatregelen het totaal van de risico's acceptabel voor belanghebbenden? Wat zijn de kosten van deze beheersmaatregelen en wegen deze op tegen de gerealiseerde risicoreductie? Is nog een verfijning nodig?
6. Overdracht van risico's naar een volgende fase. Het vaststellen in het risicodossier en het actualiseren van risicoanalyse bij de overgang naar een nieuwe projectfase is er op gericht tijdig de juiste en voor dat moment relevante gegevens in relatie tot het risicoprofiel (grof naar fijn) beschikbaar te maken. Door het vaststellen in het risicodossier gaat in het project, gericht op uiteindelijk doel van kosten- en risicobeheersing, geen waardevolle informatie tussen de fasen verloren.

4.5.2 Six Sigma model

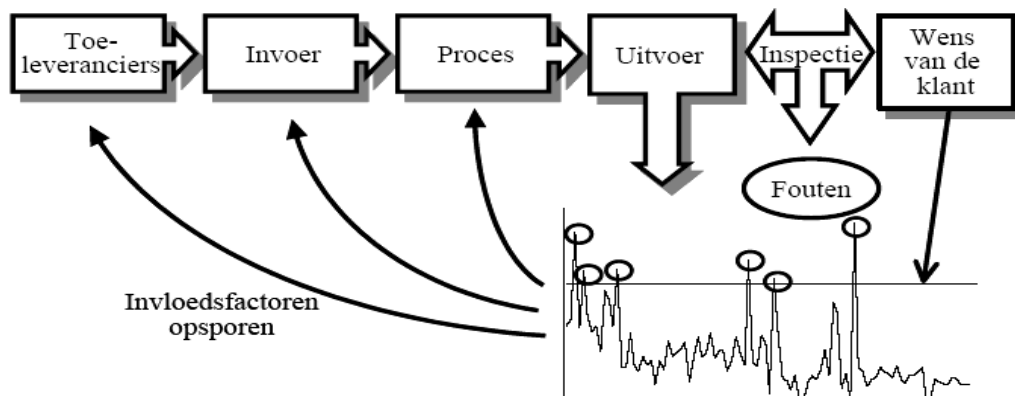
Onderstaande tekst is gebaseerd op informatie uit de webpagina's van www.sigssigma.nl, www.blomconsultancy.nl, www.managementissues.com en www.ibisuva.nl.

Six Sigma is ontstaan bij Motorola midden jaren '80 als oplossing voor problemen met kwaliteit en klanttevredenheid. Grotere bekendheid van Six Sigma werd verspreid toen het grootschalig bij General Electric is toegepast en daar voor enkele miljarden besparing heeft opgeleverd over een periode van meerdere jaren. Andere bedrijven zagen toen de kracht van Six Sigma in en het potentieel dat er geboden werd.

Six Sigma is van oorsprong een methodiek gericht op het onderkennen, analyseren en oplossen van procesvariaties. Elk proces heeft variaties, die de oorzaak zijn van veel interne faalkosten en van klachten van klanten. Six Sigma biedt een methode om deze procesvariatie kleiner te maken.

Het woord Sigma is beter bekend in de statistiek waarin sigma als meeteenheid voor de spreiding ten opzichte van het gemiddelde wordt gebruikt, de standaarddeviatie dus. Zes maal sigma is gelijk aan een foutniveau van 3,4 fouten per miljoen mogelijkheden. Omgedraaid hebben we het over een werkproces dat 99,9997% goed verloopt.

Het woord proces wordt binnen Six Sigma ook veel breder genomen dan alleen het productieproces. Ook het ontwerpproces, het verkoopproces, het inkoopproces kan worden verbeterd met Six Sigma.



Figuur 4.14: Link tussen de wens van de klant en de uitvoer van het proces

Figuur laat zien dat een proces bepaalde variaties omvat. De variaties die boven een bepaald gewenst niveau stijgen (wens van de klant), moeten worden beheerst door bepaalde maatregelen te nemen.

Een Six Sigma programma volgt een systematische DMAIC methodiek:

- Define;
In deze fase wordt vastgesteld welk proces of welk product de aanpak gaat doorlopen.
- Measure;
In de meetfase gaat het erom de proceskwaliteit vast te stellen.
- Analyse;
Het inzichtelijk maken van de werking van het proces.
- Improve;
Bepalen van optimale instellingen van het proces.
- Control.
Dit is de fase waarin het borgen van oplossingen centraal staat. Op basis van een controleplan worden diverse methodieken ingericht.

De kracht van Six Sigma ligt op vier gebieden.

- Ten eerste legt Six Sigma een krachtig fundament voor kwaliteitsverbetering, door eigen werknemers op te leiden, waardoor ze in staat zijn zelf hun processen te laten meten. dit gebeurt in projectvorm middels de DMAIC methodiek.
- Ten tweede is de focus op de klant belangrijk, het voldoen aan de klantenwens en het vergroten van de klanttevredenheid.
- Ten derde is dat Six Sigma bijdraagt aan het bedrijfsresultaat. Volgens Six Sigma is kwaliteit niet het doel maar een middel om het echte doel te bereiken, te weten het verbeteren van het bedrijfsresultaat. Dit kan worden gerealiseerd door verlaging van de kosten welke ontstaan door kwaliteitsverbetering, maar ook door vergroten van de markt, verbetering of uitbreiding van het product. Het versterken van de concurrentiepositie valt ook hieronder.
- Tenslotte zullen beslissingen ten aanzien van kwaliteit niet meer gebaseerd worden op emoties of zogenaamde ervaring, maar op harde data.

4.5.3 Kwaliteitskostenmodel

Het basisidee van het kwaliteitskostenmodel is dat kwaliteit en de kosten daarvan gemanaged moeten worden. De kosten van kwaliteit stapelen zich op door het hele proces. Vanaf de ontwikkeling van een product of dienst, via de verkoop, marketing, productie, inspectie, verpakking, aflevering en installatie, tot en met de service.

Kwaliteitskostenonderzoek is een doorlichtinginstrument waarmee de financiële gevolgen van de uitvoering van kwaliteitsactiviteiten binnen een bedrijf in kaart kunnen worden gebracht. Het uit het onderzoek resulterende kwaliteitskostenonderzoek dient vervolgens als uitgangspunt voor analyse van oorzaken van problemen en het wegnemen ervan (Bossink e.a., 1993).

Vier basisprincipes van kwaliteitskosten (Bossink e.a., 1993), (Gieskes e.a., 1999), (Maas e.a., 1995):

1. Preventiekosten;
De kosten die gemaakt worden teneinde het kwaliteitsniveau van producten of diensten te verbeteren respectievelijk beter te doen beheersen, waardoor de kans dat kwaliteitstekortkomingen zullen optreden in verdere stappen van het voortbrengingsproces of in het gebruik worden verkleind.
2. Beoordelingskosten;
De kosten die worden gemaakt om processen, producten of diensten op kwaliteit te beoordelen.
3. Interne faalkosten;
De kosten veroorzaakt door kwaliteitstekortkomingen van producten of diensten, gemaakt voordat deze de afnemer of gebruiker bereiken.
4. Externe faalkosten.
De kosten veroorzaakt door kwaliteitstekortkomingen van producten of diensten, gemaakt nadat deze de afnemer of gebruiker bereiken.

Kwaliteitskosten variëren in de praktijk van 7 tot 30% van de totale omzet. De verdeling van het aandeel van de verschillende soorten foutenkosten ligt als volgt:

- Preventiekosten: 2 tot 5%
- Beoordelingskosten: 20 tot 30%
- Interne en externe foutenkosten: 50 tot 70%

De verschillende soorten kosten hangen onderling samen. De interne en externe foutenkosten bijvoorbeeld kunnen worden verlaagd door meer aan preventie te doen. In de praktijk blijkt meestal dat de kosten die gemaakt worden ten behoeve van preventie of beoordeling meer opleveren dan de kosten die men heeft als gevolg van het achterwege laten van preventie en beoordeling. De investering loont en de totale kwaliteitskosten dalen terwijl een beter product wordt afgeleverd bij de klant.

Het is dus belangrijk gedurende het gehele proces de kwaliteit te beheersen en zo de totale kwaliteitskosten te verminderen. Dit vereist een duidelijk kwaliteitssysteem. Voor kennisintensieve dienstverlening worden in onderstaande tabel voorbeelden van de verschillende kosten aangegeven (Maas e.a., 1995):

Externe foutenkosten	Interne foutenkosten	Beoordelingskosten	Preventiekosten
Klachten	Herstel of aanpassen van geleverde dienst	Bewaking en boordeling van ingekochte diensten	Opleiding en training vakkennis
Herstellen of aanpassen geleverde diensten	Discussies over verkeerd uitgevoerde ingekochte diensten	Laboratorium en meetdiensten	Kwaliteitsplanning
Schadevergoeding aan klanten	Onderzoek en oplossing van foutenoorzaken	Interne audits	Ontwerp en ontwikkeling van kwaliteitssystemen
Order- en goodwill verlies	Interne discussie als gevolg van ontevredenheid en onvoldoende communicatie en afstemming	Collegiale toetsing en intervisie	Ontwerp en ontwikkeling van toetsingsmethoden
Aansprakelijkheidsverzekering	Systeemverstoringen zoeken	Dienstcertificatie	Training kwaliteitszorgmethoden
	Te laat komen op vergaderingen	Klanttevredenheidsmeting	Systeemcertificatie
	Verspilling van tijd	Beoordeling van ontwikkelingsactiviteiten	
	Corrigeren van rapporten	Leveranciersbeoordeling	

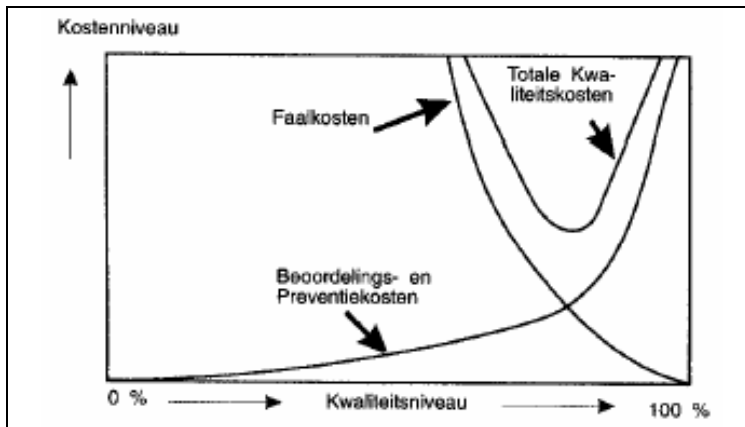
Tabel 4.3: kostensoorten

De interne en externe faalkosten hebben invloed op de tevredenheid van de klant. Externe faalkosten zijn naast een indicator voor het disfunctioneren van het product, ook voor de ontevredenheid van de klant. Interne faalkosten zijn minder schadelijk voor het imago bij de klant. De problemen hierbij worden binnen de poorten van een organisatie gehouden en worden vervolgens intern opgelost. Indirect heeft het wel een negatief effect op de klant, doordat het product een hogere kostprijs heeft door interne faalkosten.

Volgens Juran en Schneider (Bossink, 1993) geven de kwaliteitskostenmodellen de optimale verhoudingen tussen kwaliteitsgraad en kwaliteitskosten. De kwaliteitsgraad is de mate waarin producten en diensten voldoen aan de hoogst haalbare standaarden.

Een algemeen geldende aanname is dat externe en interne faalkosten kunnen worden gereduceerd door een relatief kleine investering in beoordelingskosten en vooral in preventie kosten (Bossink, 1993). Dit wordt vervolgens in twee verschillende modellen weergegeven:

1. Denkmodel van Juran: slechte kwaliteit is oneconomisch maar perfecte kwaliteit is ook oneconomisch. In dit model ligt het optimum bij een kwaliteitsgraad van 80% tot 90%.
2. Denkmodel van Schneiderman: perfecte kwaliteit is wel economisch, als gevolg van leereffecten bij medewerkers en organisatie.

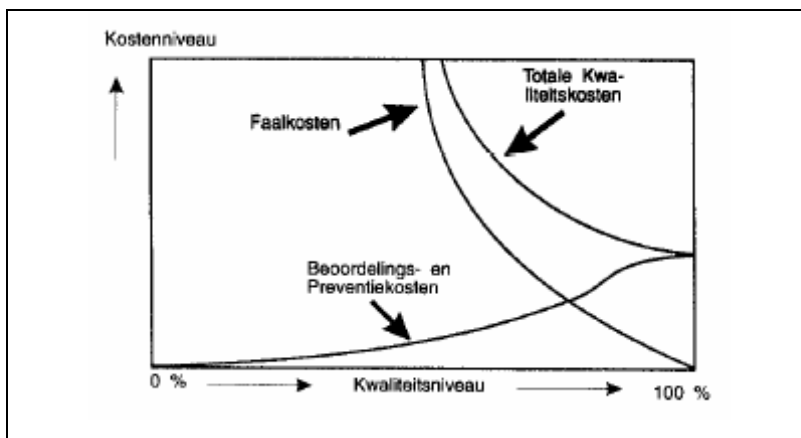


Figuur 4.15: Denkmodel van Juran (Bossink, 1993)

Links van het optimum leidt een investering in preventieve en beoordelingsactiviteiten tot een daling van de faalkosten. Rechts van het optimum is het bedrijfseconomisch niet zinvol om meer aandacht aan deze activiteiten te geven, aangezien de daarbij behorende daling in de faalkosten niet opweegt tegen de stijging van de preventie- en beoordelingskosten.

De economische effecten van kwaliteit bestaan in dat geval uit (Juran, 1978):

- Meerwaarde;
- Minder kosten door:
 - o Verminderen of verdwijnen van faalkosten;
 - o Verbeterde effectiviteit van processen;
 - o Verbeterde schaalvoordelen door vergrote omzet.



Figuur 4.16: Denkmodel van Schneiderman (Bossink, 1993)

Voor een kwaliteitskostenonderzoek worden de volgende stappen uitgevoerd:

- Stap 1: informeren
Het doel is hier om informatie te verschaffen aan betrokkenen om draagvlak te creëren. De vragen die gesteld kunnen worden zijn:
Wat is doel van kwaliteitskostenonderzoek?
Welke activiteiten zijn er nodig voor dit onderzoek?
Welke rol spelen de verschillende betrokkenen?
- Stap 2: voorbereiden
In kaart brengen op welke wijze de organisatie hun product voortbrengt door middel van een procesanalyse. Hierdoor creëert men inzicht in de inhoud en samenhang van de bedrijfsprocessen (primaire, ondersteunende en sturende processen). Na het vastleggen van een processchema wordt het uiteindelijk eenvoudiger om een analyse te maken van de oorzaken van de verschillende kwaliteitskosten.

- **Stap 3: uitvoeren**
Het doel in deze stap is om een indruk te krijgen van de relatieve omvang van totale kwaliteitskosten uitgedrukt in percentage van de omzet of percentage van de toegevoegde waarde. De urenadministratie kan hier gebruikt worden om feitelijke gegevens te verzamelen.
De volgende instrumenten kunnen worden gebruikt:
 - Oorzaken analyse: visgraat diagram met betrekking tot kosten.
 - Pareto diagram: oorzaken per kostenpost worden in volgorde van gewicht naast elkaar gelegd.
- **Stap 4: verbeteren**
De belangrijkste oorzaken van de grootste kwaliteitskostenposten dienen uit te monden in verbeterprojecten.

4.6 Kwaliteit in ConsulBrain

De definitie van kwaliteit, die toegepast wordt in het ConsulBrain model, is de mate waarin het geheel van eigenschappen voldoet aan eisen, begrensd door de prijs en tijd die het kost.

Om een kwaliteitsniveau van een kennisintensieve dienstverlening te bereiken en te beheersen is het belangrijk om de werkprocessen, deskundigheid en resultaten van het advies vast te leggen. Door bepaalde vastgelegde resultaten kan een gebruiker de kwaliteit achteraf toetsen aan zijn verwachtingen. Met behulp van de vastgelegde processen kan een gebruiker daarnaast anticiperen op een bepaald kwaliteitsniveau.

Ook is een goede communicatie tussen kenniswerkers onderling en met de opdrachtgever, van belang om tot een bepaald kwaliteitsniveau te komen.

Kortom de volgende elementen van kwaliteitsbeheersing worden gebruikt als bouwstenen voor het ConsulBrain model:

- Vastleggen en beheersen van werkprocessen om te anticiperen op een bepaald kwaliteitsniveau. Dit moet in een vaste structuur gebeuren van input, transformatie en output. Daarnaast is het belangrijk dat de volgorde van de processen en afhankelijkheid tussen de processen worden vastgelegd;
- Vastleggen van kennis;
- Vastleggen van resultaten om een meetbare waarde voor kwaliteit te leveren;
- Mogelijkheid tot communicatie met kenniswerkers en opdrachtgever. Met deze belanghebbenden kan dan gecommuniceerd worden over de correlatie van de kwaliteitseigenschappen uitgedrukt in tijd en geld. Met andere woorden, een gebruiker kan aan belanghebbenden met ConsulBrain tonen hoe de verschillende kwaliteitseigenschappen invloed hebben op elkaar. Deze manier van communicatie kan het nemen van bepaalde beslissingen vergemakkelijken.

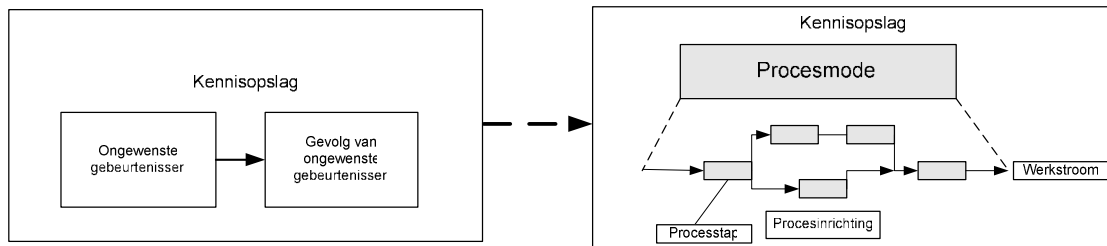
Om kwaliteitsbeheersing te bereiken kunnen de volgende hulpmiddelen voor het ConsulBrain worden gebruikt:

- Vastleggen van processen in stroomschema's of IDEF-0 modellen;
- Het gebruiken van de pareto analyse, waardoor het niet nodig is om alles te willen beheersen;
- Het gebruik van een visgraat diagram, waardoor bepaalde problemen inzichtelijk kunnen worden gemaakt.

Bij het beheersen van processen is het bepalend welke processen bepalend zijn voor het succes of falen van een bepaald systeem. Daarom is het belangrijk om risicoanalyse uit te voeren om te bepalen welke processen kritisch zijn. De uitkomsten van een analyse kunnen worden gebruikt om bepaalde keuzes te maken.

Aandacht voor procesmanagement en behorende risicoanalyse spelen bij de beschreven kwaliteitsmodellen ook een belangrijke rol.

Het onderdeel procesmanagement wordt op de volgende manier toegepast in het ConsulBrain expertsysteem (figuur 4.17). In plaats de ongewenste gebeurtenissen vast te leggen met de behorende ongewenste gevolgen, wordt kennis nu opgeslagen aan de hand van processen.



Figuur 4.17: toepassen procesmodel in ConsulBrain

De generieke structuur van ConsulBrain wordt in paragraaf 6.1 afgebeeld.

5 Horizontaal gestuurde boringen (HDD)

Het ConsulBrain model is in dit onderzoek toegepast op de advisering van horizontaal gestuurde boringen. De toepassing is in hoofdstuk zes beschreven. In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van de techniek van horizontaal gestuurde boring. Vervolgens wordt het geotechnisch advies behandeld met betrekking tot horizontaal gestuurde boringen. Aan de hand van deze kennis is in dit onderzoek een risicoanalyse uitgevoerd van een HDD advies project. Deze resultaten zijn tenslotte kort in dit hoofdstuk beschreven.

5.1 Horizontaal gestuurde boring

Gebruikte literatuur:

- *BTL-rapport 50: Handboek Horizontaal Gestuurd Boren, Geodelft e.a., 2000;*
- *Handleiding Wegenbouw Ontwerp Onderbouw: Richtlijn Boortechnieken, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1995;*
- *CUR-rapport 2003-7: Bepaling geotechnische parameters, 2003.*

De uitvoering van een horizontaal gestuurde boring (HDD) verloopt in een aantal opeenvolgende fasen (figuur 5.1):

- Pilotboring;
- Ruimen;
- Intrekken.

Het boorproces met de genoemde drie fasen van een HDD worden nu eerst nader beschreven.

Horizontal Directional drilling of horizontaal gestuurd boren is een techniek die regelmatig wordt toegepast bij het aanleggen van leidingen en infrastructuur met een relatief kleine diameter (tot ongeveer 1,5 meter) en een lengte van 1 tot 1,5 km.

Deze techniek heeft verschillende kenmerken:

- Ten eerste wordt de boring snel en sleufloos uitgevoerd. Vooral in urbane plekken waar weinig ruimte aanwezig is en een conservatieve aanleg van leidingen voor veel overlast zorgt, worden leidingen aangelegd met HDD techniek.
- Een ander kenmerk is dat de boring vanaf maaiveld plaatsvindt. Hierdoor zijn geen bouwkuipen en grondwaterstandverlaging nodig, die invloed kunnen hebben op de omgeving. Een HDD aanleg heeft wel een minimale gronddekking nodig om de invloed op de omgeving te beperken.
- Ten slotte is de horizontale boortechniek zeer goed bestuurbaar en kan de positie van de boorkop continu worden bepaald. De boorkop wordt gestuurd door een stuurslof die zich vlak achter de boorkop bevindt. Door tijdens boren de stuurslof in de gewenste richting te laten wijzen, wordt sturing verkregen. Afwijkingen kunnen worden gecorrigeerd door de stuurslof over een bepaalde afstand terug te trekken en vervolgens met een andere stand van de stuurslof verder te drukken. Een andere manier van besturen van de HDD is het monteren van een positiebepalings-unit in de boorkop. De meetgegevens worden doorgegeven aan een computer op het werkterrein. Ook kan de plaats van de boorkop worden bepaald met een bovengrondse detector of ondergrondse sensoren die middels een draadverbinding verbonden zijn met de computer.

Een horizontaal gestuurde boring wordt op de volgende manier uitgevoerd.

Vanaf een boorstelling of rig worden boorbuizen onder een bepaalde intredehoek de grond ingedreven. Er wordt onderscheid gemaakt tussen mini-, midi en maxirigs. Dit is afhankelijk van de benodigde trekkrachten en de lengte en diameter van de productbuis. Door het voortdurend aankoppelen van nieuwe boorstangen wordt een min of meer flexibele boorstang met grote lengte verkregen, die nauwkeurig gestuurd in de grond worden aangebracht. De te kruisen objecten kunnen hierdoor gekruist zonder schade of overlast aan het maaiveld. Nadat de boorgang door een pilotboring met herhaalde boorslagen voldoende groot is uitgevoerd, wordt

de leiding in zijn geheel door de boorgang in de grond naar de boorstelling ingetrokken. Een boorslag is het eenmaal geheel doorlopen van het boortracé met de boorkop of ruimer.

Bij horizontaal gestuurde boringen speelt de boorvloeistof een belangrijke rol. Deze boorvloeistof wordt vanaf de rigzijde met een pompinstallatie door de boorleiding onder hoge druk naar de boorkop geperst. De boorkop is voorzien van een aantal nozzles waardoor de boorvloeistof onder druk naar buiten in de boorgang wordt geperst.

Tijdens het boorproces heeft de boorvloeistof invloed op de volgende processen:

- Het creëren van het boorgat;
- Het verplaatsen van grond;
- Het ondersteunen van het boorgat;
- Het inbrengen van de kabels of leidingen.

Pilotboring

De pilotboring heeft als doel het maken van het eerste boorgat volgens een vooraf ontworpen profiel met het intredepunt en geplande uitredepunt van de boring. Hiervoor wordt een boorkop gebruikt waarop snijelementen, spuitnozzles of een mudmotor zijn gemonteerd. Achter de boorkop bevindt zich het sturing tool. De pilotboring wordt via dit signaleringssysteem nauwkeurig gevolgd, zodat de boring volgens het geplande tracé kan worden uitgevoerd.

Bij de pilotboring stroomt de boorvloeistof vermengd met losgemaakte grond in de ringvormige doorsnede van de boorkop langs de boorleiding terug naar de ontvangstput bij het intredepunt aan de rigzijde. Het door het ontgravingproces ontstane boorgat heeft een diameter die groter is dan de uitwendige diameter van de boorleiding, waardoor het vloeistof-grondmengsel kan afstromen via de tussengelegen ringvormige ruimte.

Ruimen

Nadat bij de pilotboring de boorgang is aangelegd en de boorleiding in het geboorde gat is ingebracht, wordt door middel van ruimen het boorgat op de gewenste diameter gebracht.

Bij het ruimen vinden er verschillende boorvloeistof stromingen plaats in de boorgang:

Bij het ruimen en intrekken kan de retourstroming naar de ontvangstput aan de pijpzijde, aan de rigzijde of naar beide zijden tegelijk terugstromen.

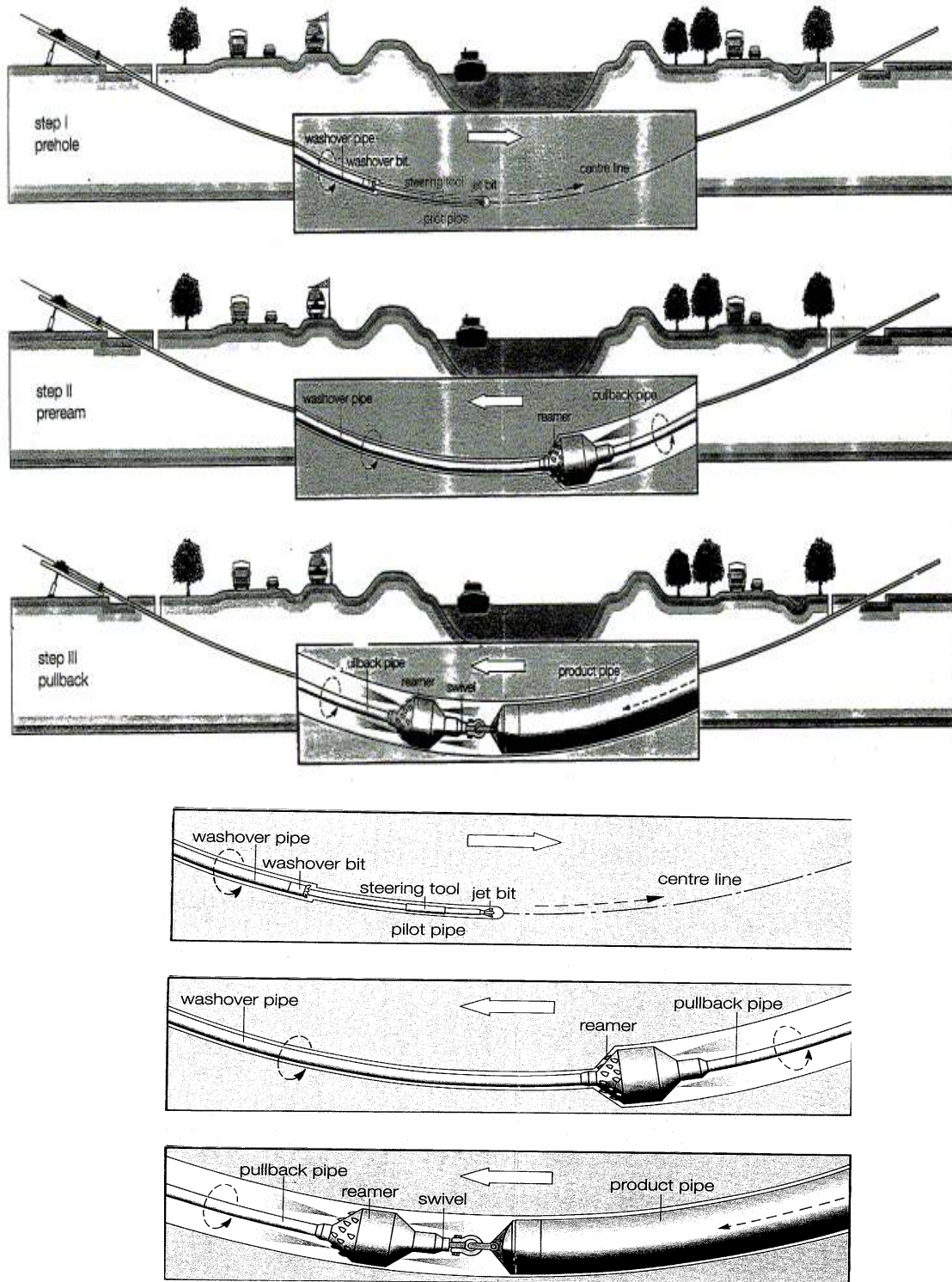
Bij een groot boorvloeistofverlies vindt soms in het geheel geen retourstroming plaats en wordt de boorvloeistof geheel in de grond opgenomen.

Bij het ruimen wordt bij grotere boringen in sommige gevallen ook boorvloeistof vanaf de pijpzijde naar de ruimer geperst. Meestal wordt de vloeistof dan verpompt vanaf de zijde waar de retourstroming vrijkomt en het in de scheidingsinstallatie wordt verwerkt. Voordeel hiervan is en geringer drukverlies.

Trekken

Nadat het boorgat tot een voldoende grote diameter is geruimd, wordt bij de laatste boorslag de productpijp ingetrokken. Bij deze laatste boorslag wordt de op rollenbanen gereedliggende productbuis bevestigd aan de boorstreng met een trekkop, voorzien van een wartel en voorafgegaan door een ruimerkop, door het boorgat naar de boorstelling toe ingetrokken.

The fundamental working steps of the Horizontal Directional Drilling Process



Figuur 5.1: uitvoeringsproces HDD

5.2 Geotechnisch advies met betrekking tot HDD

Bij de sleufloze aanleg van leidingen met behulp van boortechnieken speelt de grond een belangrijke rol. Dit geldt zowel voor het ontwerp als voor de uitvoering. Over het boortracé moet een goed beeld worden verkregen van het verloop van de grondlagen waar doorheen geboord wordt. Ook dient betrouwbare informatie aanwezig te zijn van grondwaterstanden en stijghoogte. Van de betreffende grondlagen dienen de van belang zijnde eigenschappen te worden bepaald. (CUR rapport 2003-7, 2003)

GeoDelft geeft opdrachtgevers en aannemers een geotechnisch advies bij het ontwerp van leidingkruisingen die zijn uitgevoerd met de HDD – methode.

Het adviesproces van GeoDelft bestaat uit de volgende elementen:

- Archiefonderzoek.

- Grondonderzoek ter plaatse van de HDD – boring aan de hand van bestaand en/of aanvullend onderzoek door middel van sonderingen en boringen.

- Het bepalen van de geometrie en diepteligging van de leiding of kabel uitgaande van het geleverde ontwerp door de opdrachtgever.

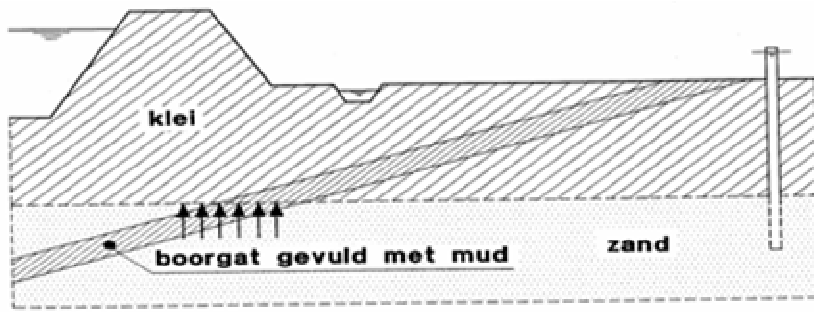
- Het bepalen van de grondmechanische parameters die nodig zijn voor de sterkteberekeningen van de leiding.

- Het uitvoeren van de sterkteberekening van het geboorde deel van de leiding in verschillende fasen:
 - Begin van de trekoperatie;
 - Einde van de trekoperatie;
 - In de bedrijfsfase.

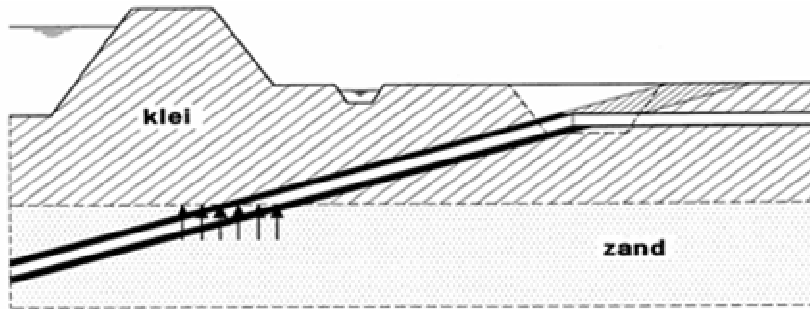
- Het bepalen van de maximale en minimale benodigde muddrukken tijdens de verschillende fasen van het boorproces (figuur 5.3 en 5.4):
 - Het uitvoeren van de pilotboring;
 - Het voorruimen van het boorgat;
 - Het intrekken van de leiding.

- Het berekenen van de trekkrachten in de leiding tijdens het intrekken van de leiding.

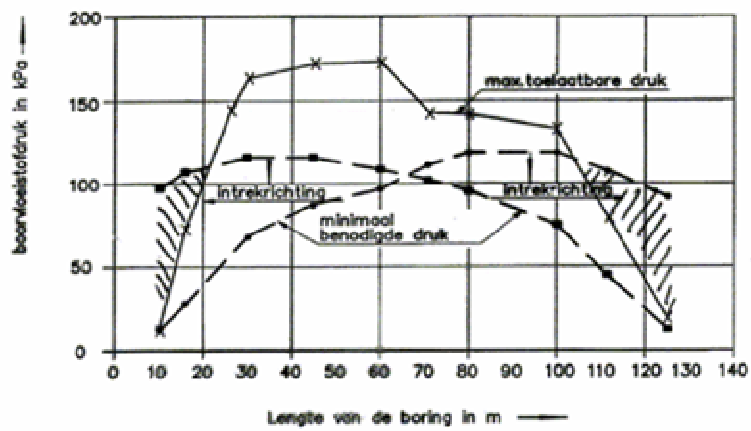
- Het bepalen van mogelijke ontstaan van kwel in verschillende fasen (figuur 5.2):
 - Tijdens de uitvoering van de gestuurde boring;
 - Tijdens het maken van de aansluitingen met landleidingen;
 - Tijdens de gebruikersfase in de lange termijn situatie.



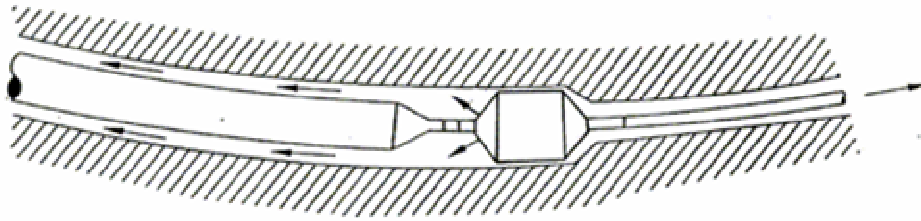
Tijdens het boren



Figuur 5.2: kwelproblematiek



Figuur 5.3: Max mudrukt en min mudrukt



Figuur 5.4: Boorvloestofdruk



Figuur 5.5: Blow-out HDD

5.1.1 Grondonderzoek

Een grondonderzoek aan de hand van boringen en sonderingen zorgt voor de benodigde informatie over de aanwezige grondlagen en grondeigenschappen in het boortracé. Daarnaast kunnen ook enkele mechanische eigenschappen van de diverse grondlagen worden vastgesteld.

Sonderen wordt vooral in Nederland veel toegepast. Bij het sonderen wordt een conus met een tophoek van 60 graden met een constante snelheid (20 mm/sec) de grond ingedrukt. Tijdens het drukken wordt de door de conus ondervonden weerstand van de grond gemeten. Het is hierbij tevens mogelijk met behulp van een kleefmantel de plaatselijke wrijving te meten. Daarnaast kan men direct boven de conus ingebouwde waterspanningsmeter tijdens het wegdrukken van de conus de waterdruk worden gemeten. Aan de hand van de resultaten van een sondering kan een goed beeld worden verkregen van de laagopbouw en van de sterkte – en stijfheidseigenschappen van de aangetroffen grondlagen.

Afhankelijk van de te verwachten grondmechanische problemen kunnen naast het sonderonderzoek ook boringen worden uitgevoerd. Boren is een grondverkenning door middel van bemonstering. De wijze waarop de bemonstering plaatsvindt (de keuze van het type boring) wordt bepaald door:

- Het doel van de boring:
 - Samenstelling van lagen vastleggen;
 - Laagscheidingen bepalen;
 - Beproeving van grondmonsters.
- De grondsoort;
- De diepte;
- De kosten.

Aan de hand van de resultaten van het grondonderzoek worden de geotechnische aspecten van een HDD boring berekend. De berekeningen zijn conform de NEN normen en leggen de volgende gegevens vast:

- Max min muddruk;
- Leiding sterkte
- Trekkracht;
- Kwel.

5.1.2 Grondmechanische parameters ten behoeve van het ontwerp

De grond om een leiding zorgt voor zowel ondersteuning van de leiding als voor een belasting op de leiding. Zo kan een belasting ontstaan als de grond een verplaatsing wil ondergaan, bijvoorbeeld een zetting door een ophoging. Evenzo wordt de grond door de leiding belast als deze wil zakken door eigen gewicht, wil opdrijven onder water, wil verlengen of verkorten door temperatuurbelasting of wil uitbuigen in horizontale of verticale richting. De krachtswerking in een buisleiding ten gevolge van de interactie met de grond wordt bepaald met behulp van sterkteberekeningen, waarbij de grond rondom de leiding als een veer wordt voorgesteld. Deze grondveren worden gekarakteriseerd met de grondmechanische parameters. De grondmechanische parameters beschrijven het gedrag van de grond rondom de leiding bij beweging of belasting. (CUR-rapport 2003-7, 2003)

Grondbelasting op een buisleiding

De grond boven de buisleiding oefent een belasting op de leiding uit. Onderscheiden wordt:

- De neutrale grondbelasting, de grondbelasting die behoort bij een leiding die geen verplaatsing ten opzichte van de omliggende grond ondergaat;
- De gereduceerde neutrale grondbelasting, de grondbelasting die behoort bij een leiding waarboven in de grond gewelfwerking optreedt;
- De passieve grondbelasting, de grenswaarde van de grondbelasting die ontstaat wanneer de grond zakt ten opzichte van de leiding of de leiding omhoog beweegt in de grond.

Neutrale grondbelasting

De neutrale grondbelasting is het gewicht van de verticale kolom grond boven de buis. Het volumiek gewicht van de grondlagen boven de buis is hier van belang.

Gereduceerde grondbelasting

De bentonietgrondschild om de leiding zal na de aanleg van de leiding enigszins opstijven. Deze schild fungeert echter als een zeer samendrukbare laag, die aanleiding zal geven tot gewelfwerking en reductie van de grondbelasting.

Voor het berekenen van de gereduceerde bovenbelasting is naast het volumiek gewicht ook de hoek van inwendige wrijving en de cohesie van belang.

Passieve grondbelasting

Passieve grondbelasting op een leiding treedt op als de leiding de beweging van het omringende grondmassief in het geheel niet of slechts gedeeltelijk kan volgen. Dit kan in verticale zin bijvoorbeeld het geval zijn bij zettingen. De grond links en rechts van de leiding zakt, de leiding verzet zich hiertegen door haar eigen stijfheid en blijft bij de zetting achter. In de grensvlakken van de verticale kolom grond boven de leiding worden door de omringende grondmassa schuifkrachten uitgeoefend die de totale bovenbelasting op de leiding vergroten. De bovengrens van deze belasting wordt de passieve grondbelasting genoemd en wordt bereikt als genoemde schuifkrachten hun maximumwaarde hebben bereikt.

Beddingsconstante bovenzijde leiding

De toename van de bovenbelasting als functie van de verplaatsing kan worden bepaald met behulp van de beddingconstante voor de bovenzijde van de leiding. Bij horizontaal gestuurde

boringen wordt maximaal gerekend met de neutrale grondbelastingen. Deze beddingconstante speelt dan ook geen rol bij deze wijze van aanleg.

Beddingsconstante onderzijde leiding en evenwichtsdraagvermogen

Het evenwichtsdraagvermogen is het bezwijkdraagvermogen van de grond onder de leiding. Dit is de belasting die nodig is om over de volle breedte van de buis de bodem onder de buis te doen bezwijken. Om dit bezwijkdraagvermogen te bereiken is een bepaalde indrukking van de buis in de grond nodig. De toename van de grondreactie op de buis als functie van de verplaatsing kan worden bepaald met de verticale beddingconstante onderzijde leiding. Wanneer buisleidingen worden aangelegd door middel van horizontaal gestuurde boringen, bevindt de buisleiding zich in overmaats boorgat, dat gevuld is met opgestijfde bentoniet. Door het boren is de grond rondom de buis geroerd en de boorvloeistof in het boorgat gedraagt zich als slappe klei. Bij de berekening van het evenwichtsdraagvermogen en de beddingconstante dient daarbij rekening te worden genomen. Het belang van deze grondmechanische parameter is bij horizontaal gestuurde boringen niet groot.

Maximale wrijving en de daarbij behorende verplaatsing

Wanneer een buisleiding in lengterichting een verplaatsing ondergaat of de buis tordeert, dan wordt in de grond een wrijvingsweerstand ondervonden. De wrijving tussen buis en grond wordt geleverd door schuifspanningen langs de omtrek van de buis. Deze schuifspanningen komen tot ontwikkeling bij een relatieve beweging van de buis ten opzichte van de grond. Onder wrijvingsverplaatsing wordt verstaan de relatieve verplaatsing van de buis ten opzichte van de omringende grond, nodig om de grenswaarde van de wrijving te bereiken.

Verticale grondverplaatsing onder de leiding

De belangrijkste oorzaak van krachtswerking in ondergrondse buisleidingen zijn zakkingverschillen in lengterichting van de leiding. De zakking van een buisleiding kan worden veroorzaakt door:

- Zettingen van de ondergrond door belastingen op het maaiveld voor of na aanleg van de leiding;
- Zettingen van de ondergrond door het uitvoeren van werkzaamheden in de nabijheid van de leiding. Deze werkzaamheden kunnen bijvoorbeeld bestaan uit het uitvoeren van bemalingen, het inbrengen of verwijderen van grondkeringen of het plegen van ontgravingen;
- De aanleg van de leiding (uitvoeringszakking).

Boorgatstabiliteit

De functies van de boorvloeistof zijn ondermeer de afvoer van losgeboorde grond en de instandhouding van de boorgang.

Minimale druk van de boorvloeistof

Voor de afvoer van de losgeboorde grond in het boorgat is een minimale druk van de boorvloeistof noodzakelijk. Deze minimale benodigde druk wordt bepaald door twee factoren:

- Het hoogteverschil tussen boorfront en het uittredepunt van de retourstroom van boorvloeistof aan het maaiveld: statische druk;
- De minimale druk die nodig is om de boorvloeistof (inclusief losgeboorde grond) in het boorgat over een bepaalde afstand in beweging te brengen: dynamische druk.

Maximale druk van de boorvloeistof

Voor het in stand houden van de boorgang en het transport van de afgeboorde grond is het nodig dat er een bepaalde druk heerst in de boorgang. De druk in de boorvloeistof is echter begrensd. Wordt de druk in de boorgang groter dan de heersende gronddruk, dan zal expansie van het boorgat optreden. Deze expansie is in eerste instantie elastisch. Bij verdere toename van de druk wordt de vervorming rondom de gang plastisch. Bij toename van de druk nemen vanaf dat moment de vervormingen progressief toe. Om groundbreuk tijdens het boren te voorkomen moet de plastische zone beneden het maaiveld of waterbodembodem blijven.

5.2 Risicoanalyse adviesproject

In een brainstormsessie met adviseurs en experts van GeoDelft (2004), die over het algemeen betrokken zijn bij adviesprojecten voor horizontaal gestuurde boringen, zijn de verschillende risico's bepaald binnen een HDD-adviesproject.

Een risico is in de brainstormsessie gedefinieerd als:

Een kans op een ongewenste gebeurtenis of onzekerheid (oorzaak), vermenigvuldigd met het gevolg op de kwaliteit van het advies.

De kennis en ervaring van de aanwezigen hebben de verschillende oorzaken en gevolgen gewaardeerd, waardoor vervolgens een rangschikking is gemaakt van belangrijkste risico's die over het algemeen voorkomen in een HDD advies.

Uit de brainstormsessie kan men concluderen dat de adviseurs met de genoemde onzekerheden rekening moeten houden. De volgende onzekerheden hebben over het algemeen de meeste invloed op de kwaliteit van het HDD advies:

- Onvoldoende geotechnisch onderzoek;
- Onvoldoende geohydrologisch onderzoek;
- Onvoldoende kwaliteit van de adviseur.

Risicoanalyse HDD advies				
Nr.	Risico	Kans	Gevolg	Score
1	Uitvoeren van onvoldoende grondonderzoek	5	4	<u>20</u>
2	Onjuiste bepaling grondwaterspanning	4	4	<u>16</u>
3	Onjuiste bepaling verloop maaiveld of onderwaterbodem	3	5	<u>15</u>
4	Onjuiste bepaling grondgesteldheid tussen onderzoekspunten	3	4	<u>12</u>
5	Onjuiste bepaling grondwaterkwaliteit (zout/zoet)	3	4	<u>12</u>
6	Ondoordacht gebruik van tabel 1 NEN 6740	3	4	<u>12</u>
7	Onjuiste verloop van leidingtracé	3	4	<u>12</u>
8	Onvoldoende rekening houden met uitvoerbaarheid in praktijk	3	4	<u>12</u>
9	Niet onderkennen van obstakels in ondergrond	2	5	<u>10</u>
10	Het maken van aannames voor samenstelling boorvloeistof	5	2	<u>10</u>
11	Onjuiste bepaling van diepte van te kruisen constructie	2	5	<u>10</u>
12	Het niet onderzoeken van invloed op de omgeving	3	3	<u>9</u>
13	Verkeerde interpretatie grond(onderzoek)	2	4	<u>8</u>
14	Onvoldoende rekening houden met grondrisico's voor uitvoering	2	4	<u>8</u>
15	Onvoldoende interne communicatie tussen adviseur en geolab	2	4	<u>8</u>
16	Ontworpen boogstraal is niet uitvoerbaar	2	4	<u>8</u>
17	Gegevens worden verkeerd ingevoerd in software	3	2	<u>6</u>
18	Kennis in NEN normen is niet overzichtelijk	2	3	<u>6</u>
19	Grondonderzoek gegevens zijn laat beschikbaar voor adviseur	5	1	<u>5</u>
20	Grondmechanische parameters niet goed berekend	1	5	<u>5</u>
21	Onjuiste bepaling afmetingen leidingen en boorgat	1	5	<u>5</u>
22	De kwelproblematiek wordt niet bestudeerd	1	5	<u>5</u>
23	Maximale en minimale muddrukken worden niet goed berekend	1	5	<u>5</u>
24	Onvoldoende grondwatergegevens freatisch vlak	4	1	<u>4</u>
25	Geen kennis over ophogingen uit verleden met onbekende zettingen	4	1	<u>4</u>
26	Ervaring HDD advies is intern niet breed verspreid	2	2	<u>4</u>
27	De diameter van een boorstang wordt aangenomen	2	2	<u>4</u>
28	Geen rekening houden met bodemverontreiniging	1	3	<u>3</u>

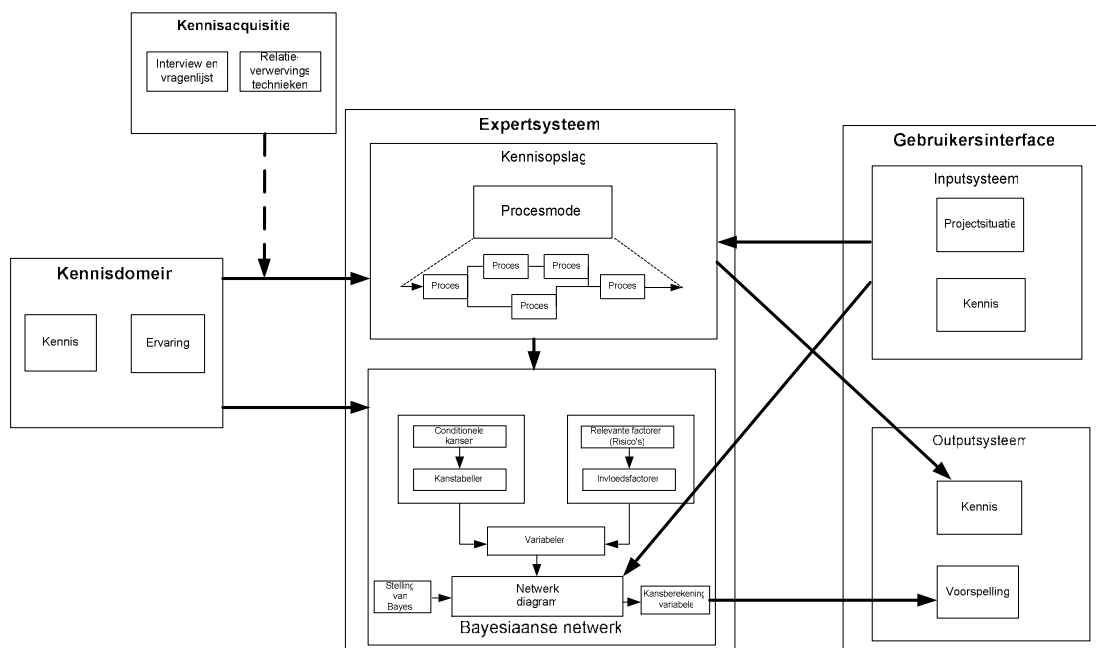
Tabel 5.1: risicoanalyse HDD advies

6 ConsulBrain model toegepast op HDD

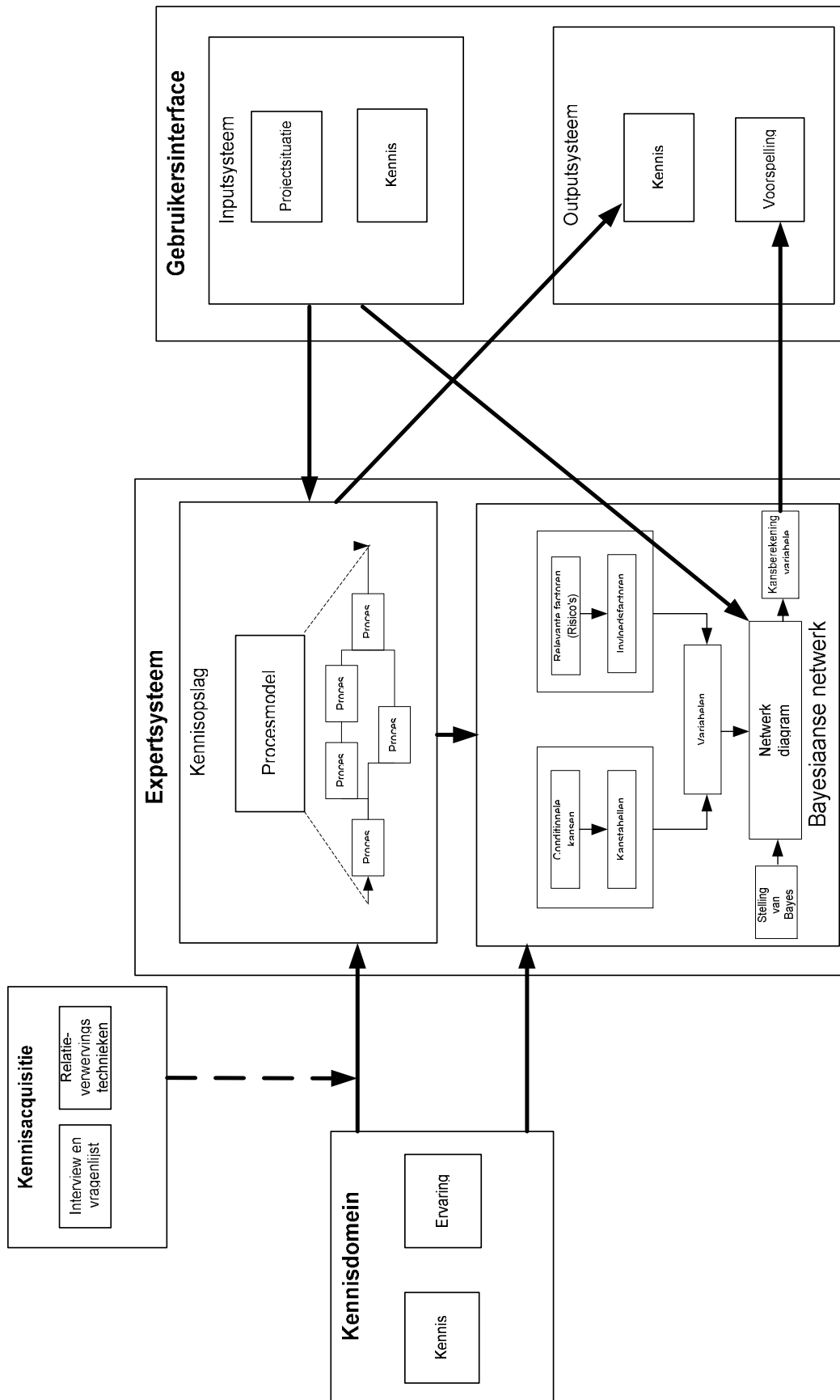
In dit hoofdstuk wordt de generieke structuur van het ConsulBrain model behandeld. De verschillende elementen uit de vorige hoofdstukken zijn hier ingevoerd. Vervolgens is dit model toegepast op HDD consultancy. Het behorende procesmodel en Bayesiaanse netwerk zijn hier beschreven.

6.1 Structuur model ConsulBrain

De structuur van een generieke ConsulBrain model is dus gebaseerd op GeoBrain elementen, structuur van een expertstelsel, opvattingen uit de kennismanagement en kwaliteitsbeheersing van kennisintensieve dienstverlening. Het resultaat hiervan is afgebeeld in onderstaande figuur 6.1.



Figuur 6.1: generieke ConsulBrain model

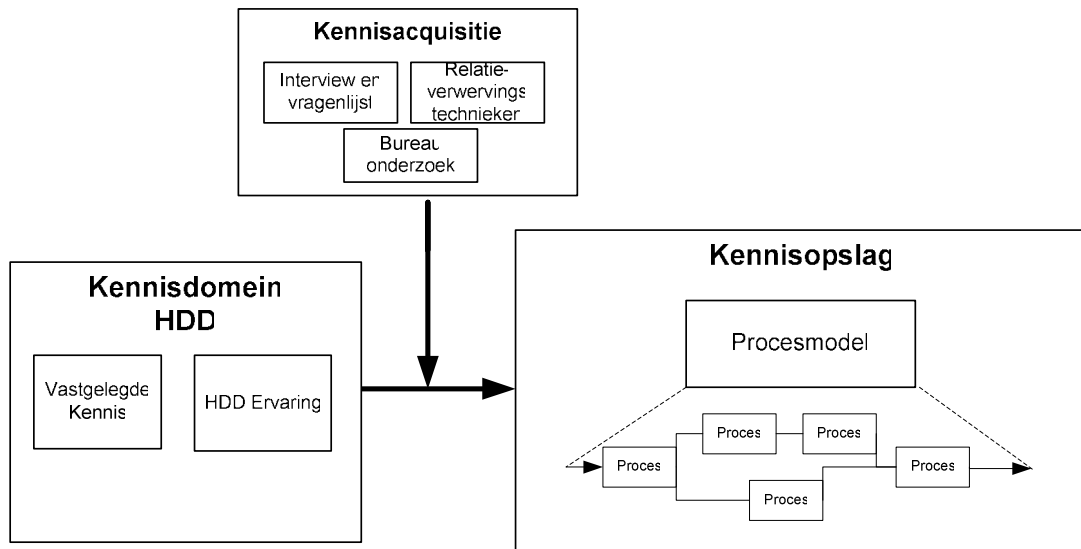


Figuur 6.1: generieke ConsulBrain model

6.2 Procesmodel voor HDD advies

In onderstaande figuur 6.2 is het onderdeel van ConsulBrain afgebeeld dat leidt tot een procesmodel. In dit onderzoek is de kennis gehaald uit literatuur NEN 3650-1 (2003), Hergarden (2000), expertkennis en uitgevoerde HDD projecten (HDD-rapportages, 2004-2005). Deze kennis is vervolgens omgezet in processen.

Met dit procesmodel kan een adviseur de processen, activiteiten en voorschriften raadplegen die hij in een bepaalde volgorde moet gebruiken om tot een HDD advies te komen.



Figuur 6.2: Procesmodel in ConsulBrain

Een HDD advies bestaat uit vijf hoofdprocessen:

1. Het uitvoeren van geotechnisch onderzoek;
2. Advisering van boorvloei- en stofdrukken;
3. Bepalen van trekkrachten;
4. Advisering rond kwelproblematiek;
5. Controleberekeningen sterkte leidingen.

Hieronder worden de hoofdprocessen voor het uitvoeren van een HDD advies verder verdeeld in subprocessen.

6.2.1 Uitvoeren van geotechnisch onderzoek

Het uitvoeren van geotechnisch onderzoek bestaat vervolgens uit de volgende processen:

1. Bepalen uitgangspunten;
2. Bestuderen bestaand onderzoek;
3. Laten uitvoeren van aanvullend geotechnisch onderzoek;
4. Resultaat van geotechnisch onderzoek bepalen:
 - Geotechnische parameters;
 - Hydrologische parameters;
 - Grondslag.

Bepalen van uitgangspunten geometrie en diepteligging kruising uit ontwerpen van opdrachtgever:

- Bepalen van maximale diepteligging kruising;
- Bepalen van lengte van de boring;
- Bepalen van hoek bij intredepunt van de pilotboring;
- Bepalen van hoek bij uittredepunt van de pilotboring;

- Bepalen van gehanteerde bochtstralen verticaal;
- Bepalen eventuele toekomstige ophoging van de aardebaan boven de leiding.

Bestuderen van bestaand geotechnische onderzoek:

- Bestuderen van geologische kaart:
 - Bepalen van aanwezige grondformatie/dekzanden;
 - Bepalen van aanwezigheid meanderende rivier;
 - Indruk krijgen van dikte slappe lagen/niveau bovenkant Pleistoceen;
 - Indruk krijgen van aanwezigheid van zwerfstenen, grind en grindbanken;
 - Indruk krijgen van grondlagen met specifieke eigenschappen.
- Bestuderen van TNO grondwaterkaart en DINO database:
 - Indruk krijgen van grondwaterstand/polderpeil;
 - Indruk krijgen watervoerende grondlagen en slecht waterdoorlatende grondlagen;
 - Indruk krijgen van stijghoogte diepere zandlagen. Tussen twee waarden kiezen van maximale waarde;
 - Bepalen van waarden van waterdoorlatendheid grondlaag;
 - Bepalen van chemische samenstelling grondwater;
 - Bepalen van bovengrens brakwaterniveau;
 - Indruk krijgen van infiltratie - en kwelgebieden.
- Bestuderen rapporten van de opdrachtgever:
 - Bestuderen van tekeningen van tracékruising en lengteprofiel van de leiding;
 - Inschatting maken van obstakeltreffing in boortrace;
 - Bestuderen van resultaten van boringen en sonderingen;
 - Bestuderen van uitgevoerd laboratorium onderzoek.
- Uitvoeren van archiefonderzoek van geotechnisch onderzoek in de nabije omgeving;
 - Bestuderen van sondeergrafieken uit het archief;
 - Bestuderen van geotechnisch profiel uit het archief;
 - Inschatting maken van obstakeltreffing in boortrace.

Laten uitvoeren van aanvullend geotechnische onderzoek:

- Laten uitvoeren van terreinonderzoek:
 - Laten uitvoeren van geofysische grondonderzoek;
 - Laten plaatsen van peilbuizen;
 - Freatisch grondwaterstand;
 - Grondwaterspanning in Pleistoceen zand.
 - Laten uitvoeren van sonderingen;
 - Conusweerstand;
 - Plaatselijke kleeft;
 - Waterspanning aan de hand van sondering met piezocone.
 - Laten uitvoeren van grondboringen.
 - Bepalen volumegewicht van grondmonsters;
 - Bepalen korrelverdelingen van grondmonsters.
- Laten uitvoeren van laboratoriumonderzoek
 - Laten uitvoeren van gedraineerde/ongedraineerde traixiaalproef;
 - Laten uitvoeren van samendrukkingsproef;
 - Bepalen classificatie grondsoorten aan de hand van korrelverdelingen in zeefkrommen;
 - Bepalen van sterkte eigenschappen;
 - Hoek van inwendige wrijving;
 - Cohesie.
 - Bepalen van grondspanningen:
 - Volumegewicht;
 - Watergehalte;

- Waterspanning;
- Korrelspanning.

Resultaten bepalen:

- Bepalen van grondmechanische parameters.
- Bepalen van hydrologische parameters.
- Schematiseren van grondslag in boortrace.

De grondmechanische parameters worden bepaald conform NEN3650/3651:2003.

De volgende grondmechanische parameters worden berekend:

• P_v^p	: passieve grondbelasting	[N/mm ²];
• P_v^n	: neutrale grondbelasting	[N/mm ²];
• $P_{v,r}^n$: gereduceerde neutrale grondbelasting	[N/mm ²];
• d_v	: verticale grondverplaatsing onder de leidingenbundel	[mm];
• k_v	: verticaal beddinggetal	[N/mm ³];
• P_v^e	: evenwichtsdraagvermogen	[N/mm ²].

6.2.2 Advisering van boorvloei-stofdrukken

Voor de advisering van boorvloei-stofdrukken worden de volgende processen doorlopen:

1. Bepalen van uitgangspunten boorvloei-stofdrukken
2. Bepalen van maximale toelaatbare muddruk;
3. Bepalen van minimale toelaatbare muddruk;
4. Maken van aanbeveling met betrekking tot blow-out.

Bepalen van uitgangspunten

- Bepalen diepteligging leiding:
 - Bepalen of leiding relatief diep gelegen is;
 - Bepalen of leiding relatief ondiep gelegen is.
- Bepalen ligging grondsoort:
 - Leiding in cohesieve grondlaag;
 - Bepalen van toegepaste partiele veiligheidsfactor op volumegewicht grondlaag = 1,1;
 - Bepalen van toegepaste partiele veiligheidsfactor op schuifsterkte grondlaag = 1,3;
 - Leiding in niet cohesieve grondlaag;
 - Bepalen van toegepaste partiele veiligheidsfactor op de omvang plastische zone = 1,5;
 - Bepalen van toegepaste maximale rek van het boorgat = 5 %.
- Bepalen afmetingen:
 - Equivalente uitwendige diameter buis;
 - Diameter boorgat.

Bepalen maximaal toelaatbare muddruk

- Uitvoeren van GD-methode, gebaseerd op ruimte-expansie theorie (relatief diep);
- Het in beschouwing nemen van andere bezwijkmechanismen van de grond (relatief ondiep);
- Bepalen van maximaal toelaatbare muddruk bij aantal maatgevende verticalen:
 - Tijdens pilotboring;
 - Tijdens voorruimoperatie;
 - Tijdens intrekoperaties.

Bepalen min toelaatbare muddruk

- De totale minimaal benodigde druk wordt als volgt berekend:

$$P_{\min} = P_1 + P_2 = h \times \gamma + \frac{dp}{dl} \times l$$

- Berekenen min muddruk (P1) door hoogteverschil tussen boorfront en het uittredepunt van de retourstroom van boorvloeistof aan het maaiveld:
 - Bepalen hoogteverschil tussen boorfront en uitredepunt boorvloeistof;
 - Bepalen volumegewicht boorvloeistof;
- Berekenen min muddruk (P2) door benodigde boorvloeistofdruk in boorgat om bepaalde afstand in beweging te brengen:
 - Bepalen van benodigde druk per lengte eenheid boorgat;
 - Bepalen van afstand langs boorgat vanaf positie van boorfront tot aan het uittredepunt van de boorvloeistof;
- Bepalen uitgangspunten boorvloeistof:
 - Bepalen van gewenst debiet;
 - Bepalen van gemiddelde volumegewicht boorvloeistof;
 - Bepalen gemiddelde viscositeit boorvloeistof;
 - Bepalen van yield point boorvloeistof;
 - Bepalen plastic viscosity boorvloeistof.
- Berekenen min toelaatbare muddrukken in drie fasen:
 - Tijdens pilotboring;
 - Tijdens voorruimoperatie;
 - Tijdens intrekoperaties.
- Bepalen of minimale muddruk (Pmin) kleiner is dan de maximale muddruk (Pmax);

Aanbevelingen tegen blow-out maken:

- Aanbeveling van een andere diepteligging waar minimale muddruk wel kleiner is dan maximale muddruk;
- Aanbevelingen volumegewicht boorvloeistof: eventueel dunnere vloeistof;
- Aanbeveling voor extra grondwerk: tijdelijk dempen van sloten en tochten bij geringe verschil tussen minimale en maximale muddruk;
- Aanbeveling voor debietverlaging en daarmee voortgangsnelheid van het boren;
- Aanbeveling voor locatie intrede – en/of uittredepunt: bij hogere ligging uittredepunt dan intredepunt kan dit leiden tot uitstroom van bentoniet aan intredezijde.

6.2.3 Bepalen trekkrachten

1. Bepalen uitgangspunten;
2. Berekenen trekkrachten;
3. Maken van aanbevelingen.

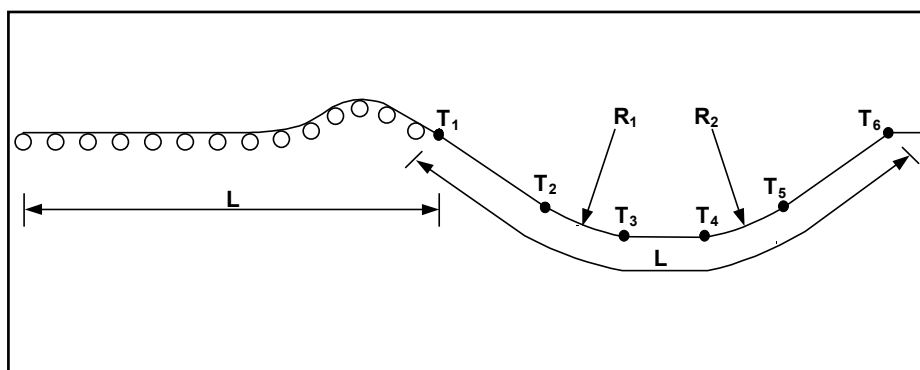
Bepalen uitgangspunten

- Bepalen wrijvingsfactoren tussen leiding en rollenbaan (f_1), boorvloeistof (f_2) en grond (f_3):
 - $F_1 = 0,1 / 0,05$;
 - $F_2 = 0,000050 / 0,000015$;
 - $F_3 = 0,2 / 0,1$.
- Bepalen van zes vastgestelde punten in boortrace;
 - Start intrekken;
 - Einde rechte deel neergaand;
 - Einde verticale bocht neergaand;
 - Einde horizontale deel;
 - Einde verticale bocht opgaand;
 - Einde rechte deel opgaand.
- Bepalen van onzekerheidsfactor op trekkrachten bij verschillende grondlagen:
 - Bundel = 1,8;
 - Bij lokaal instabiliteit van boorgat = 2,5;
 - Kunststof leidingen = 1,4.
- Bepalen van equivalente leidingdiameter en wanddikte leiding;

Berekenen van trekkrachten bij zes vastgestelde punten in boortrace

Maken van aanbevelingen

- Bepalen van maximale toegestane trekkrachten voor leiding en vergelijken met berekende trekkrachten;
- Maken aanbeveling of leiding wel of niet vullen om wrijving tussen buis en grond te verminderen;
- Maken aanbeveling voor benodigde trekcapaciteit boorstelling;
- Maken aanbeveling leidingkwaliteit die wel voldoet aan de treksterkte.



6.2.4 Advisering rond kwelproblematiek

1. Bepalen van uitgangspunten;
2. Bepalen kwelsituaties vanuit drie situaties;
3. Maken van aanbevelingen.

De veiligheid tegen kwel (de weerstand tegen stroming door het boorgat) kan als volgt beschreven worden:

$$\frac{\gamma_{\text{bentoniet}} H + \tau_0 \times \frac{O}{A} \times L}{\gamma_{\text{water}} h_{\text{wvp}}} \geq 1,05$$

waarin:

$\gamma_{\text{bentoniet}}$ is het volumieke gewicht van de bentoniet in het boorgat [kN/m^3]

γ_{water} is het volumieke gewicht van water [kN/m^3]

H is de dikte van de slechtdoorlatende grondlagen [m]

h_{wvp} is de stijghoogte van het diepe grondwater onder laagscheiding holoceen/pleistoceen [m]

τ_0 is de yield point van de boorvloeistof [kN/m^2]

O is de natte omtrek van het boorgat [m]

A is annulus ofwel het natte oppervlak waardoor de boorvloeistof kan stromen [m^2]

L is de stromingslengte door de annulus vanaf de bovenkant van het eerste het watervoerend pakket tot het bentoniet-niveau [m].

Kwel eis:

$$p_{z;d} \leq \gamma_{2;d} \cdot d_{2;d} + f \cdot \gamma_{1;d} \cdot d_{1;d}$$

waarin:

$p_{z;d}$ = de rekenwaarde van de grondwaterdruk in de te bemalen watervoerende laag juist onder de afsluitende laag op een diepte z beneden de bodem van de ontgraving

$\gamma_{2;d}$ = de rekenwaarde van het volumiek gewicht van de als afsluitende laag functionerende grondlagen onder de bodem van de ontgraving

$d_{2;d}$ = dikte van de lagen onder de ontgraving

f = factor voor de spreiding van belasting onder de sleuf

$\gamma_{1;d}$ = de rekenwaarde van het volumiek gewicht van de als afsluitende laag functionerende grondlagen boven de bodem van de ontgraving

$d_{1;d}$ = dikte van de lagen boven de ontgraving

Bepalen van uitgangspunten:

- Bepalen van maaiveld niveau van in – en uittredepunt boring;
- Bepalen van afsluitende holocene laag;
- Bepalen van de grenslaag tussen slecht doorlatende grondlagen en het eerste watervoerende pakket bij in – en uittredepunt boring;
- Bepalen van watervoerende grondlaag;
- Bepalen van slecht doorlatende holocene grondlaag;
- Bepalen van stijghoogte eerste watervoerende pakket;
- Bepalen van freatisch grondwaterniveau;
- Bepalen soortelijke gewicht boorspoeling;

Bepalen kwelsituaties vanuit drie situaties:

- Bepalen kwelsituatie tijdens de uitvoering;
 - Bepalen niveauverschil tussen stijghoogte eerste watervoerende pakket en freatisch grondwaterstand;

- Berekenen van de waterdruk door niveauverschil tussen spanningwater en grondwater;
 - Berekenen minimale volumieke gewicht boorvloeistof om waterdruk tegen te houden;
 - Bepalen grenslaagniveau;
 - Bepalen maaiveldniveau;
 - Bepalen kwelveiligheidsfactor en dit vermenigvuldigen met minimale volumieke gewicht boorvloeistof;
- Bepalen kwelsituatie tijdens maken van de aansluitingen;
- Bepalen niveau onderkant sleufbodem ter plaatse van het in – en uitredpunt van de pilotboring;
 - Bepalen freatisch grondwaterniveau ter plekke van het in – en uitredpunt;
 - Bepalen stijghoogte van het grondwater in het eerste watervoerende pakket;
 - Bepalen niveauverschil tussen stijghoogte eerste watervoerende pakket en freatisch grondwaterstand;
 - Berekenen van de hydrostatische druk door niveauverschil tussen spanningwater en grondwater;
 - Berekenen minimale volumieke gewicht boorvloeistof voor hydrostatische tegendruk;
 - Bepalen grenslaagniveau;
 - Bepalen kwelveiligheidsfactor en dit vermenigvuldigen met minimale volumieke gewicht boorvloeistof;
- Maken aanbevelingen;
- Aanbeveling maken tegen eventueel optredende kwel (andere soortelijk gewicht boorvloeistof, spanningsbemaling);
 - Aanbeveling maken tegen eventueel in den natte maken van aansluitingen (spanningsbemaling);
- Bepalen kwelsituatie op lange termijn:
- Bepalen mate van consolideren in boorgat van bentoniet-water mengsel op lange termijn;
 - Bepalen van potentiaal van grondwater in watervoerende pakket ten opzichte van freatisch grondwater op lange termijn;
 - Bepalen of er kwelproblemen zullen ontstaan op lange termijn;

Maken aanbevelingen;

- Eventueel aanbeveling maken voor het gebruik van Drillmix:
 - Voor een betere consolidatie van ruimte tussen leiding en boorgat;
 - In verband met zout grondwater.
- Aanbeveling om aan weerszijde van de leidingkruising een kwelscherm om leidingbundel aan te brengen in combinatie met een kleikist.

6.2.5 Controleberekening sterkte leidingen

Onderscheid tussen stalen - en PE leiding

1. Bepalen van uitgangspunten;
 2. Controle leiding:
 - a. Toetsen spanningsituaties in drie fasen;
 - b. Toetsen deflectie;
 - c. Toetsen implosie;
 3. Maken van aanbevelingen.
- **Bepalen uitgangspunten:**
- Bepalen grondmechanische parameters;
 - Bepalen gegevens en uitgangspunten van de leiding en boorvloeistof (SDR-waarde);

– **Controle spanning:**

PE leiding

- Berekenen maximale axiale ($\sigma_{a,max}$) en maximale tangentele ($\sigma_{t,max}$) spanning leiding in drie fasen:
 - Begin trekoperatie;
 - Einde trekoperatie;
 - In bedrijfsfase.
- Maximale axiale en tangentele spanningen in begin en einde trekoperatie toetsen aan toelaatbare korte duur trekspanning ($\bar{S}_t = 8,0$);
- Maximale axiale en maximale tangentele spanningen in bedrijfsfase toetsen aan lange duur wandspanning ($\bar{S}_t = 6,3$).

Stalen leiding

- Berekenen van maximale axiale ($\sigma_{a,max}$) en maximale tangentele ($\sigma_{t,max}$) spanningen in leiding tijdens drie fasen;
 - Begin trekoperatie;
 - Einde trekoperatie;
 - In bedrijfsfase:
 - In drukloze situatie;
 - Met inwendige druk.
- Bepalen van maximale vervangende spanningen;
- De optredende spanningen in alle situaties controleren aan voorwaarden conform NEN 3650:2003.
 - $S_{py} \leq R_e / \gamma_m$;
 - $S_{v1} \leq 1,1 R_e / \gamma_m$;
 - $S_{v2} \leq 0,85 (R_e + R_{e0}) / \gamma_m$;
 - $S_{v3} \leq 0,85 (R_e + R_{e0}) / \gamma_m$;
 - $S_{v4} \leq 0,85 (R_e + R_{e0}) / \gamma_m$.

Waarbij $R_e = R_{e0}$ gelijk is gesteld aan 241 N/mm^2 , en $\gamma_m = 1,1$.

Controle deflectie:

- Berekenen deflectie en vergelijken met toetaalbare deflectie;

- Aanbevelingen maken om aan deflectienorm te voldoen over wanddikte, vloeigrens of diameter leiding.

PE leiding

$$\delta_y = \frac{(k_y q_n + k_y' q_r) D_u r_g^3}{EI_w}$$

Stalen leiding

$$\delta_y = \frac{k_y \times (Q_{n,r} - 0,8 \times Q_{h,r}) \times r_g^3 + k_y' \times Q_{indir} \times r_g^3}{EI_w} \times D_e \leq 0,08 \times D_e$$

Controle implosie PE leiding

- Berekenen implosie
 - Tijdens intrekken leiding;
 - Op lange termijn.
- Bepalen toelaatbare alzijdige uitwendige druk,
 - Korte duur;
 - Lange duur.
- Bepalen optredende bentonietdruk;
- Toetsen optredende bentonietdruk aan toelaatbare alzijdige uitwendige druk korte duur;
- Bepalen maximale waterdruk ter plaatse van de leiding op diepste punt;
- Toetsen maximale waterdruk met toelaatbare druk lange termijn;
- Aanbevelingen maken om aan de implosienorm te voldoen:
 - Leidingen volzetten met water;
 - Wanddikte;
 - Vloeigrens;
 - Diameter leiding.

6.3 Bayesiaanse netwerken

Bij het uitvoeren van een HDD-advies spelen een aantal risico's een rol. Van de belangrijkste risico's kan met behulp van Bayesiaanse netwerken kwantitatieve schattingen worden gemaakt, zodat een beeld wordt gevormd van de kwalitatieve gevolgen. In dit deel wordt de kwantitatieve uitwerking van de belangrijkste risico's gepresenteerd. Uit de risicoanalyse van hoofdstuk vijf is voortgekomen dat "onvoldoende uitvoeren van geotechnisch onderzoek" en "onvoldoende uitvoeren hydrologisch onderzoek" de grootste risico's zijn bij het uitvoeren van een HDD advies. Deze risico's zijn samengevoegd in het risico "onvoldoende onderzoek voor HDD advies", waar ook is aangenomen dat onvoldoende kwaliteit van de adviseur invloed heeft of er voldoende onderzoek is voor een HDD-advies.

In hoofdstuk twee is al besproken dat een Bayesiaanse netwerk bestaat uit een kwalitatieve- en een kwantitatieve gedeelte.

Het kwalitatieve gedeelte bestaat uit een grafische afbeelding, waarin de causale relaties tussen de verschillende variabelen zijn afgebeeld.

In de kwantitatieve gedeelte moeten de systeemp parameters en de externe grootheden worden gespecificeerd, evenals de beginwaarden van een voldoende aantal toestandsgrootheden.

In het onderzoek is aan de hand van literatuur (NEN 3650-1, 2003), (Hergarden, 2000) en expertkennis van GeoDelft een eerste opzet gemaakt van een kwalitatieve Bayesiaanse netwerk. Hieronder wordt de opbouw ervan verder beschreven.

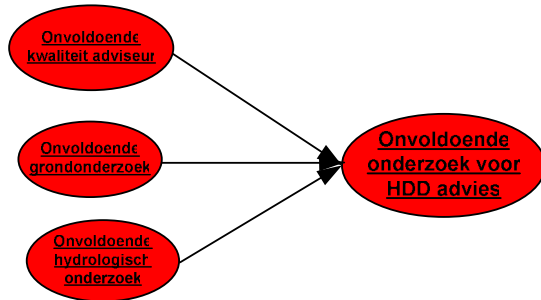
Om de werking van een kwantitatieve netwerk te demonstreren, zijn voor een gedeelte van het opgestelde Bayesiaanse netwerk de conditionele kanstabellen opgesteld. Voor het risico "onvoldoende kwaliteit adviseur" zijn namelijk verschillende conditionele kansen aangenomen. Daarnaast is er ook een kansverdeling aangenomen voor het risico "onvoldoende geotechnisch onderzoek" en "onvoldoende hydrologisch onderzoek". De verschillende gegevens zijn ingevoerd in het programma "Bayesbuilder", waarmee de conditionele kansverdeling worden berekend.

6.3.1 Kwalitatieve gedeelte BN "onvoldoende onderzoek voor HDD advies"

Het kwalitatieve gedeelte is opgebouwd in drie lagen:

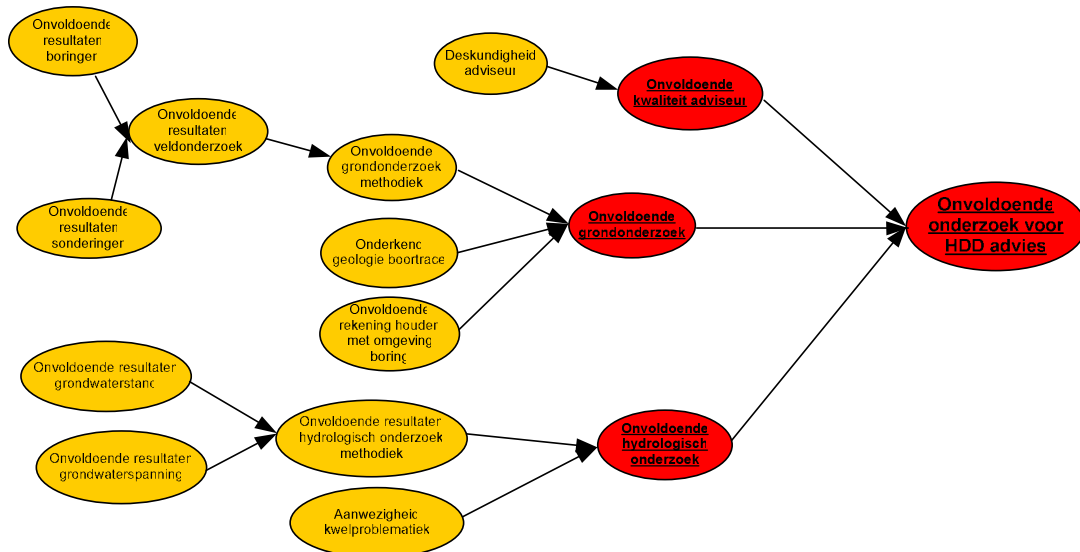
- Eerst is een basisprincipe van het netwerk opgesteld. In dit onderzoek wordt aangenomen dat "onvoldoende onderzoek voor HDD advies" wordt bepaald door onvoldoende grondonderzoek, hydrologisch onderzoek en kwaliteit van de adviseur. In figuur 6.3 zijn deze relaties weergegeven.
- Vervolgens zijn de invloedsparameters per basisknoop bepaald. Deze zijn in figuur 6.4 weergegeven in de kleur oranje.
- Ten slotte is het netwerk verder uitgebouwd met projectafhankelijke parameters. De groene knopen in figuur 6.5 geven dit aan.

Basisprincipe netwerk (rood):



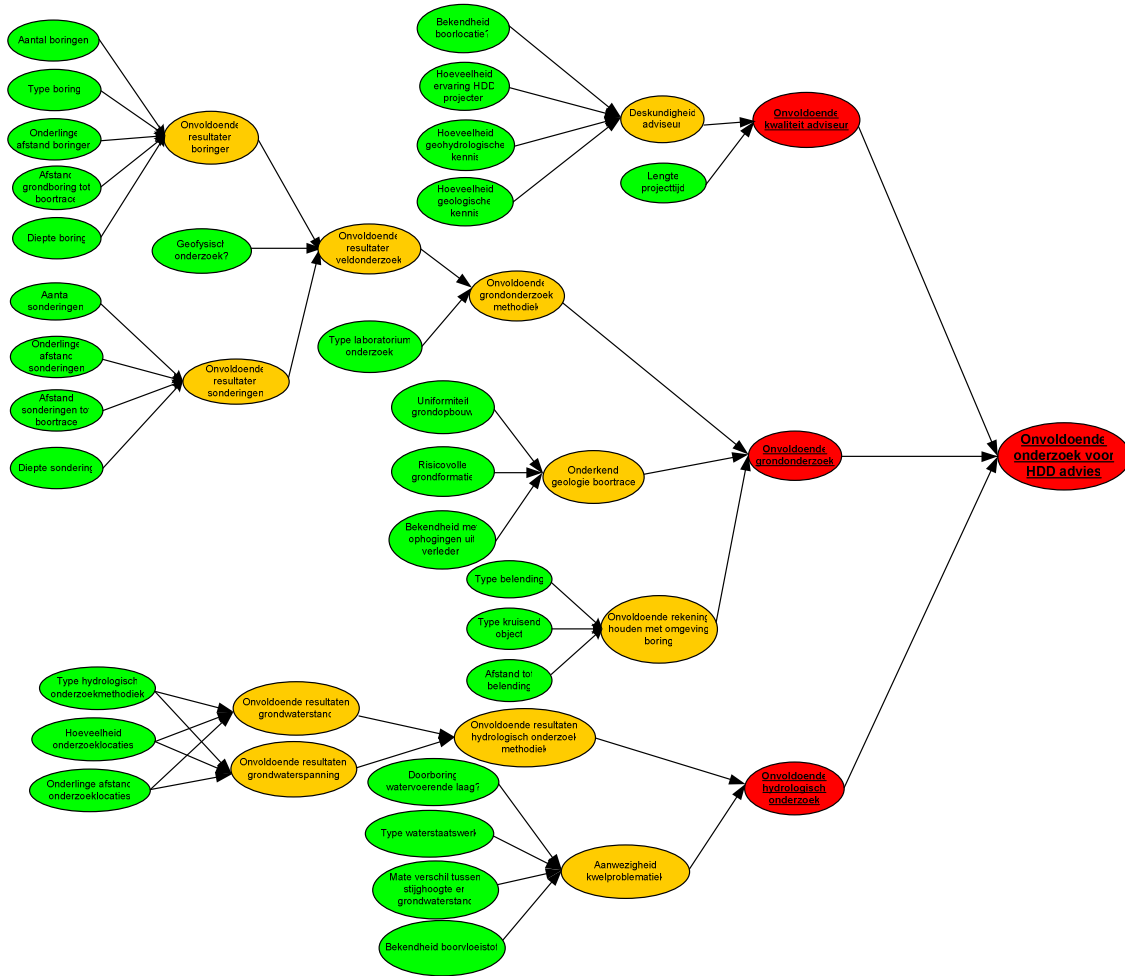
Figuur 6.3: basisprincipe netwerk "onvoldoende onderzoek voor HDD advies"

Per basisknoop zijn de invloedsparameters vastgelegd (oranje):



Figuur 6.4: invloedsparameters

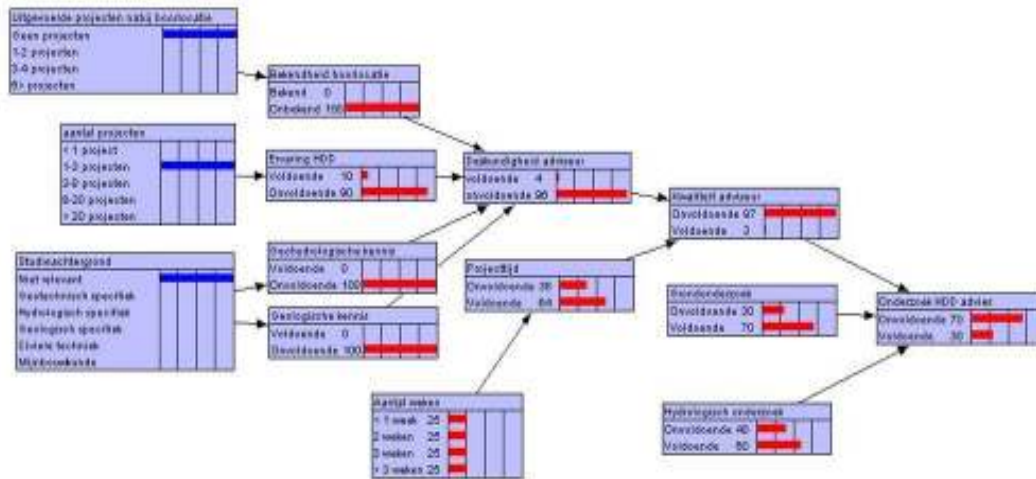
Verder is het netwerk uitgebreid met projectafhankelijke parameters (groen):



Figuur 6.5: projectafhankelijke parameters

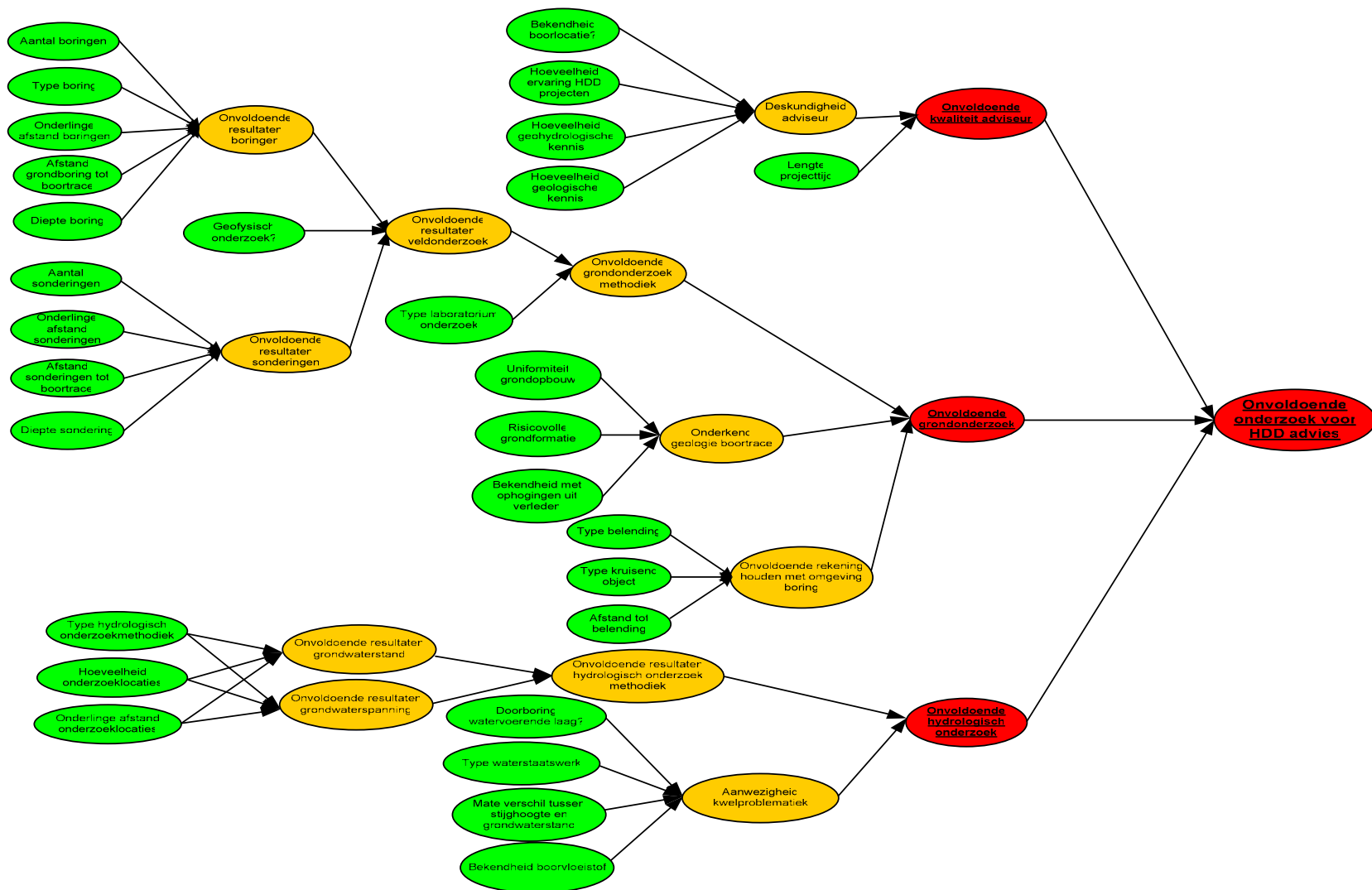
6.3.2 Kwantitatieve gedeelte BN “onvoldoende onderzoek voor HDD advies”

In onderstaande figuur 6.6 is een kwantitatieve Bayesiaanse netwerk afgebeeld. De behorende kansverdelingen per parameter zijn in bijlage 5 beschreven en zijn gebaseerd op geschatte aannames. Verder is alleen voor de variabele “kwaliteit adviseur” een kwantitatieve netwerk opgesteld. Voor de variabelen “grondonderzoek” en “hydrologisch onderzoek” zijn meteen een kansverdeling geschat, dat niet gebaseerd is op de behorende invloedparameters die bijvoorbeeld in figuur 6.5 zijn beschreven.

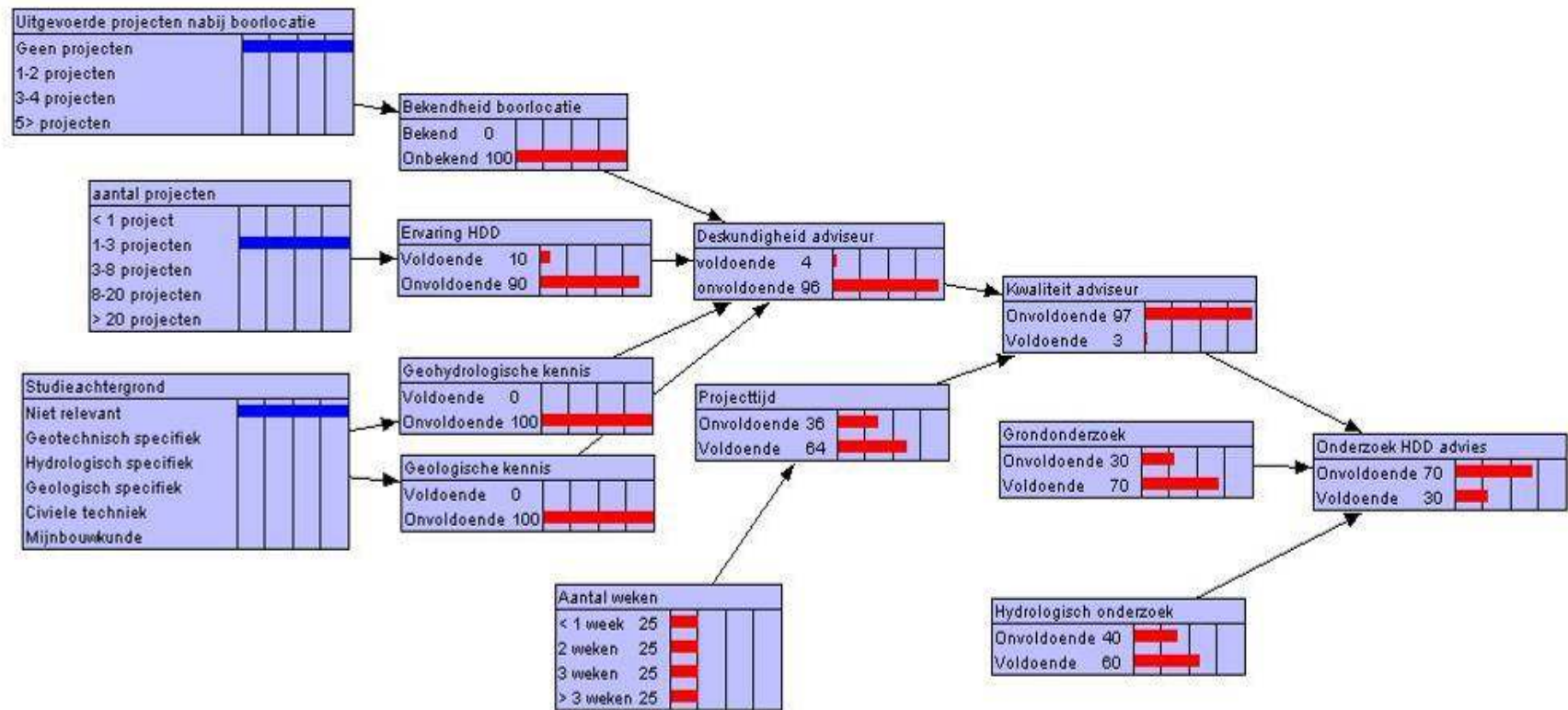


Figuur 6.6: kwantitatieve BN “onderzoek HDD advies”

In eerste instantie is het niet de bedoeling dat het model een volledige juiste antwoord geeft, maar dat het de mogelijkheid van een kwantitatieve Bayesiaanse netwerk weergeeft. In dit voorbeeld geeft het model een kansverdeling of het onderzoek voor een HDD advies voldoende is. De kansverdeling 70 % - 30 % geeft aan dat de kans groot is dat het onderzoek onvoldoende is om een kwalitatief goed HDD advies te geven.



Figuur 6.5: kwalitatieve BN "onderzoek HDD advies"



Figuur 6.6: kwantitatieve BN "onderzoek HDD advies"

7 Evaluatie ConsulBrain model

In dit hoofdstuk wordt het ontwikkelde ConsulBrain model getoetst aan de PvE. Middels deze toets kunnen de sterke en zwakke punten van het ConsulBrain model worden uiteengezet.

7.1 Toetsing ConsulBrain op PvE

Het programma van eisen (PvE) van het te ontwikkelen ConsulBrain model bestaat uit de volgende punten:

- Eisen en wensen van GeoDelft;
- Kenmerkende aspecten van GeoBrain (Hoofdstuk 2);
- Functionele eisen voor het opstellen van expertsystemen (Hoofdstuk 3);
- Aspecten uit de literatuur over kwaliteitbeheersing (Hoofdstuk 4).

Hieronder worden de verschillende eisen in tabelvorm beschreven en getoetst aan de eigenschappen van ConsulBrain.

Eisen van GeoDelft	Eigenschap ConsulBrain	Toets
Het systeem moet gebruiksvriendelijk en eenvoudig zijn voor gebruikers;	Hierover kan nog geen uitspraak worden gemaakt, omdat ConsulBrain nog in de ontwikkelingsfase bevindt.	Geen
Alle werknemers van GeoDelft moeten toegang hebben op het systeem;	Hierover kan nog geen uitspraak worden gemaakt, omdat ConsulBrain nog in de ontwikkelingsfase bevindt.	Geen
Het systeem moet het gebruik ervan stimuleren;	Hierover kan nog geen uitspraak worden gemaakt, omdat ConsulBrain nog in de ontwikkelingsfase bevindt.	Geen
De vormgeving van het systeem moet overeenkomen met bestaande GeoBrain systemen;	ConsulBrain bevat net als GeoBrain “funderingstechniek” een database en een onderdeel met kunstmatige intelligentie in de vorm van Bayesiaanse netwerken.	Voldoet
Er moet draagvlak onder de gebruikers zijn of worden gecreëerd;	Hierover kan nog geen uitspraak worden gemaakt, omdat ConsulBrain nog in de ontwikkelingsfase bevindt.	Geen
Het systeem moet geëvalueerd worden aan de hand van aantal testcases;	In dit onderzoek is een eerste toepassing uitgevoerd op HDD consultancy. Hiermee zijn de mogelijkheden van het model aangetoond. Echter de uitkomsten van de toepassing zijn onvoldoende om het model te evalueren.	Voldoet niet.
Het systeem is bedoeld voor adviseurs van GeoDelft, vooral voor jonge en/of onervaren adviseurs;	ConsulBrain bestaat uit elementen, waarmee ondersteuning kan worden gegeven in het maken van beslissingen. Het procesmodel en Bayesiaanse netwerk zorgen voor geschikte ondersteuning van onervaren adviseurs.	Voldoet
Experts leveren kennis uit ervaring en bestaat uit advieslogica en het schatten van onzekerheden.	In het onderzoek is enigszins gebruik gemaakt van advieslogica van experts. Dit komt in ConsulBrain terug in het procesmodel. Daarnaast hebben expert schattingen geleverd van risico's die tijdens een HDD-advies kunnen voorkomen. De kanstabellen in het Bayesiaanse netwerk zijn echter zijn niet bepaald door experts.	Matig

Tabel 7.1: Toetsing aan eisen GeoDelft

Eisen uit GeoBrain	Eigenschap ConsulBrain	Toets
Het systeem moet een inschatting kunnen maken van het projectresultaat.	Met een doorontwikkelde procesmodel en Bayesiaanse netwerk kan ConsulBrain een inschatting leveren van het projectresultaat. De toepassing op HDD consultancy is onvoldoende om tot juiste schattingen te komen.	Voldoende mits doorontwikkeld.
Het systeem moet beslissingondersteunend werken met betrekking tot uit te voeren activiteiten voor een adviesresultaat;	Met het procesmodel van ConsulBrain kan een adviseur de passende activiteiten bepalen. Ook hier is de toepassing niet voldoende ontwikkeld. De processen zijn namelijk onvoldoende volgordelijk vastgelegd.	Voldoende mits doorontwikkeld.
Het systeem moet beslissingondersteunend werken met betrekking tot het aantonen van de effectiviteit van te nemen maatregelen;	Met het Bayesiaanse netwerk kan een adviseur bepalen welke effecten bepaalde maatregelen hebben. In de toepassing op HDD is een kleine demonstratie gegeven. Maar om betrouwbare gegevens te verkrijgen dient dit model doorontwikkeld te worden.	Voldoende mits doorontwikkeld.
Het systeem moet (HDD) kennis kunnen borgen, ter voorkoming van het wegvloeien van kennis door bijvoorbeeld ontslag of pensionering van adviseurs;	In het procesmodel wordt de kennis opgeborgen in processen.	Voldoet.
Het systeem moet toekomstige (HDD) kennis eenvoudig kunnen inpassen;	Het procesmodel en Bayesiaanse netwerk kan continu aangepast worden. De veranderingen kosten wel tijd en moeite.	Voldoet gedeeltelijk.
Het systeem moet voor adviseurs van GeoDelft een kennisbron zijn;	Adviseurs kunnen kennis uit het procesmodel en Bayesiaanse netwerk halen. Ook hier is de toepassing onvoldoende ontwikkeld om operationeel te zijn.	Voldoende mits doorontwikkeld.
De invoer voor het systeem zijn de gegevens van een opdrachtgever over een (HDD) probleem;	Aan de hand van bepaalde probleemgegevens kan een adviseur zijn kennis zoeken in het procesmodel. Daarnaast kan hij in een doorontwikkelde Bayesiaanse netwerk de projectafhankelijke parameters invullen.	Voldoende mits doorontwikkeld.
Het systeem moet gebruik maken van een database	Procesmodel dient als database.	Voldoet.
Het systeem moet een generieke structuur hebben en specifiek worden toegepast.	ConsulBrain is generiek ontwikkeld. In dit onderzoek is een specifieke toepassing uitgevoerd.	Voldoet.
Beheersen van de projectrisico's door deze te benoemen en te kwantificeren;	Projectrisico's spelen een belangrijke rol bij het Bayesiaanse netwerk. Hiervoor is in het onderzoek ook een risicoanalyse uitgevoerd. In een ontwikkelde Bayesiaanse netwerk kan een adviseur een gekwantificeerde waarde krijgen van bepaalde projectrisico's.	Voldoet.
Het systeem moet gebruik maken van Bayesiaanse netwerken	Bayesiaanse netwerk is een belangrijke element in ConsulBrain.	Voldoet.
Voor elke knoop in het opgestelde causale netwerk moet gelden dat, als alle directe oorzaken van een knoop gegeven zijn, een knoop onafhankelijk is van alle andere knopen, behalve van de directe oorzaken en gevolgen.	Het is zeer waarschijnlijk dat dit niet geldt voor de korte demonstratie van een kwantificeerde Bayesiaanse netwerk.	Voldoet niet.
Bayesiaanse netwerk bestaat uit een kwalitatieve gedeelte in de vorm van een causaal netwerk	Causaal netwerk is opgesteld maar niet geëvalueerd met expertmeningen en gevalideerd met de praktijk.	Voldoet.
Bayesiaanse netwerk bestaat uit een kwantitatieve	Van het causaal netwerk is maar een klein	Voldoet

gedeelte in de vorm van marginale en conditionele kansverdelingen, waarmee de voorwaardelijke kansverdeling bepaald kan worden	onderdeel ingevuld met aangenomen kansverdelingen.	Matig.
Een Bayesiaanse netwerk moet gebaseerd zijn op gegevens uit de literatuur en meningen van meerdere experts.	Het Bayesiaanse netwerk in de toepassing is vooral enigszins gebaseerd op literatuur en een enkele expertmening.	Voldoet Matig.

Tabel 7.2: toetsing aan eisen GeoBrain

Eisen uit expertsystemen	Eigenschap ConsulBrain	Toets
Aanwezigheid van een input systeem dat data en informatie verzameld.	Inputsysteem is onderdeel van ConsulBrain.	Voldoet.
Aanwezigheid van een centrale opslagplaats van verschillende kennisbronnen.	Het procesmodel is de centrale opslagplaats.	Voldoet.
Aanwezigheid van kunstmatige intelligentie.	Bayesiaanse netwerk is een techniek uit de kunstmatige intelligentie.	Voldoet.
Aanwezigheid van een output systeem dat kennis verspreid en communiceert aan werknemers.	Outputsysteem is onderdeel van ConsulBrain.	Voldoet.
Het maken en verklaren van geschikte beslissingen in deterministische situaties.	Procesmodel is hiervoor geschikt.	Voldoet.
Het maken en verklaren van geschikte beslissingen in stochastische situaties.	Bayesiaanse netwerk is hiervoor geschikt.	Voldoet.
Kennis in het systeem komt uit experts en literatuur;	Experts en literatuur zorgen voor de kennis in ConsulBrain.	Voldoet.
Kennisacquisitie middels interviewen en observeren van deskundigen.	Kennis is in de toepassing vooral verkregen uit literatuuronderzoek en interviews met experts. Bepaalde observatietechnieken zijn niet uitgevoerd.	Voldoet matig.
Daarnaast kunnen bepaalde relatie-verwervingstechnieken worden gebruikt om relaties tussen objecten in een kennisdomein op te sporen.	Deze technieken zijn niet gebruikt in de toepassing van ConsulBrain. Voor de ontwikkeling van een Bayesiaanse netwerk kunnen het belangrijke technieken zijn.	Voldoet niet.

Tabel 7.3: toetsing aan eisen expertsystemen

Eisen uit kwaliteitsbeheersing	Eigenschap ConsulBrain	Toets
Het systeem moet een inschatting kunnen maken van het projectresultaat.	Met een doorontwikkelde procesmodel en Bayesiaanse netwerk kan ConsulBrain een inschatting leveren van het projectresultaat. De toepassing op HDD consultancy is onvoldoende om tot juiste schattingen te komen.	Voldoende mits door- ontwikkeld.
De definitie van kwaliteit, die toegepast wordt in het ConsulBrain model, is de mate waarin het geheel van eigenschappen voldoet aan eisen, begrensd door de prijs en tijd die het kost.	De mate van voldoen aan bepaalde eisen geeft aan dat het een bepaalde kansverdeling is voor kwaliteit. In Bayesiaanse netwerk wordt de mate van onzekerheid gegeven, dat ook begrensd wordt door tijd en geld.	Voldoet.
Vastleggen van werkprocessen.	Gebeurt in procesmodel.	Voldoet.
Vastleggen van kennis.	Gebeurt in procesmodel en Bayesiaanse netwerk.	Voldoet.
Processen moeten vastgelegd zijn in een vaste structuur van input, transformatie en output.	Dit is in de toepassing niet duidelijk gebeurd.	Voldoet niet.
De volgorde van afhankelijkheid tussen de processen moeten worden vastgelegd.	In de toepassing niet duidelijk uitgevoerd.	Voldoet niet.
Aantonen van de correlatie van de kwaliteitseigenschappen uitgedrukt in tijd en geld.	In een Bayesiaanse netwerk kan de gebruiker deze correlatie aantonen.	Voldoet.
Vastleggen van processen in stroomschema's of IDEF-0 modellen;	Is in de toepassing niet gebeurd.	Voldoet niet.
Het gebruiken van de pareto analyse, waardoor het niet nodig is om alles te willen beheersen;	In de toepassing zijn ook alleen de drie grootste risico's gekozen om ze eventueel verder te	Voldoet.

	analyseren.	
Het gebruik van een visgraat diagram, waardoor bepaalde problemen inzichtelijk kunnen worden gemaakt.	Het causaal model van een Bayesiaanse netwerk heeft hetzelfde functie als een visgraat diagram. Dit dient voor de toepassing echter doorontwikkeld te worden.	Voldoet Mits doorontwikkeld
Uitvoeren van een risicoanalyse uit te voeren om te bepalen welke processen kritisch zijn.	Is in het ConsulBrain model uitgevoerd.	Voldoet.
<i>Tabel 7.4: toetsing aan eisen kwaliteitsbeheersing</i>		

7.2 Sterke punten

De sterke punten van het ConsulBrain model zijn de eigenschappen van het model die voldoen aan het programma van eisen.

1. De vormgeving van het systeem moet overeenkomen met bestaande GeoBrain systemen;	ConsulBrain bevat net als GeoBrain "funderingstechniek" een database en een onderdeel met kunstmatige intelligentie in de vorm van Bayesiaanse netwerken.	Voldoet
2. Het systeem is bedoeld voor adviseurs van GeoDelft, vooral voor jonge en/of onervaren adviseurs;	ConsulBrain bestaat uit elementen, waarmee ondersteuning kan worden gegeven in het maken van beslissingen. Het procesmodel en Bayesiaanse netwerk zorgen voor geschikte ondersteuning van onervaren adviseurs.	Voldoet
3. Het systeem moet (HDD) kennis kunnen borgen, ter voorkoming van het wegvloeien van kennis door bijvoorbeeld ontslag of pensionering van adviseurs;	In het procesmodel wordt de kennis opgeborgen in processen.	Voldoet
4. Het systeem moet gebruik maken van een database	Procesmodel dient als database.	Voldoet
5. Het systeem moet een generieke structuur hebben en specifiek worden toegepast.	ConsulBrain is generiek ontwikkeld. In dit onderzoek is een specifieke toepassing uitgevoerd.	Voldoet
6. Beheersen van de projectrisico's door deze te benoemen en te kwantificeren;	Projectrisico's spelen een belangrijke rol bij het Bayesiaanse netwerk. Hiervoor is in het onderzoek ook een risicoanalyse uitgevoerd. In een ontwikkelde Bayesiaanse netwerk kan een adviseur een gekwantificeerde waarde krijgen van bepaalde projectrisico's.	Voldoet
7. Het systeem moet gebruik maken van Bayesiaanse netwerken	Bayesiaanse netwerk is een belangrijke element in ConsulBrain.	Voldoet
8. Bayesiaanse netwerk bestaat uit een kwalitatieve gedeelte in de vorm van een causaal netwerk	Causaal netwerk is opgesteld maar niet geëvalueerd met expertmeningen en gevalideerd met de praktijk.	Voldoet
9. Aanwezigheid van een input systeem dat data en informatie verzameld.	Inputsysteem is onderdeel van ConsulBrain.	Voldoet
10. Aanwezigheid van een centrale opslagplaats van verschillende kennisbronnen.	Het procesmodel is de centrale opslagplaats.	Voldoet
11. Aanwezigheid van kunstmatige intelligentie.	Bayesiaanse netwerk is een techniek uit de kunstmatige intelligentie.	Voldoet
12. Aanwezigheid van een output systeem dat kennis verspreid en communiceert aan werknemers.	Outputsysteem is onderdeel van ConsulBrain.	Voldoet
13. Het maken en verklaren van geschikte beslissingen in deterministische situaties.	Procesmodel is hiervoor geschikt.	Voldoet
14. Het maken en verklaren van geschikte beslissingen in stochastische situaties.	Bayesiaanse netwerk is hiervoor geschikt.	Voldoet

15. Kennis in het systeem komt uit experts en literatuur;	Experts en literatuur zorgen voor de kennis in ConsulBrain.	Voldoet
16. De definitie van kwaliteit, die toegepast wordt in het ConsulBrain model, is de mate waarin het geheel van eigenschappen voldoet aan eisen, begrensd door de prijs en tijd die het kost.	De mate van voldoen aan bepaalde eisen geeft aan dat het een bepaalde kansverdeling is voor kwaliteit. In Bayesiaanse netwerk wordt de mate van onzekerheid gegeven, dat ook begrensd wordt door tijd en geld.	Voldoet
17. Vastleggen van werkprocessen.	Gebeurt in procesmodel.	Voldoet
18. Vastleggen van kennis.	Gebeurt in procesmodel en Bayesiaanse netwerk.	Voldoet
19. Aantonen van de correlatie van de kwaliteitseigenschappen uitgedrukt in tijd en geld.	In een Bayesiaanse netwerk kan de gebruiker deze correlatie aantonen.	Voldoet
20. Het gebruiken van de pareto analyse, waardoor het niet nodig is om alles te willen beheersen;	In de toepassing zijn ook alleen de drie grootste risico's gekozen om ze eventueel verder te analyseren.	Voldoet
21. Uitvoeren van een risicoanalyse uit te voeren om te bepalen welke processen kritisch zijn.	Is in het ConsulBrain model uitgevoerd.	Voldoet

Tabel 7.5: sterke punten ConsulBrain

Daarnaast bevat ConsulBrain sterke punten als het model in de toekomst door wordt ontwikkeld.

22. Het systeem moet een inschatting kunnen maken van het projectresultaat.	Met een doorontwikkelde procesmodel en Bayesiaanse netwerk kan ConsulBrain een inschatting leveren van het projectresultaat. De toepassing op HDD consultancy is onvoldoende om tot juiste schattingen te komen.	Voldoende mits doorontwikkeld.
23. Het systeem moet beslissingondersteunend werken met betrekking tot uit te voeren activiteiten voor een adviesresultaat;	Met het procesmodel van ConsulBrain kan een adviseur de passende activiteiten bepalen. Ook hier is de toepassing niet voldoende ontwikkeld. De processen zijn namelijk onvoldoende volgordelijk vastgelegd.	Voldoende mits doorontwikkeld.
24. Het systeem moet beslissingondersteunend werken met betrekking tot het aantonen van de effectiviteit van te nemen maatregelen;	Met het Bayesiaanse netwerk kan een adviseur bepalen welke effecten bepaalde maatregelen hebben. In de toepassing op HDD is een kleine demonstratie gegeven. Maar om betrouwbare gegevens te verkrijgen dient dit model doorontwikkeld te worden.	Voldoende mits doorontwikkeld.
25. Het systeem moet voor adviseurs van GeoDelft een kennisbron zijn;	Adviseurs kunnen kennis uit het procesmodel en Bayesiaanse netwerk halen. Ook hier is de toepassing onvoldoende ontwikkeld om operationeel te zijn.	Voldoende mits doorontwikkeld.
26. De invoer voor het systeem zijn de gegevens van een opdrachtgever over een (HDD) probleem;	Aan de hand van bepaalde probleemgegevens kan een adviseur zijn kennis zoeken in het procesmodel. Daarnaast kan hij in een doorontwikkelde Bayesiaanse netwerk de projectafhankelijke parameters invullen.	Voldoende mits doorontwikkeld.
27. Het systeem moet een inschatting kunnen maken van het projectresultaat.	Met een doorontwikkelde procesmodel en Bayesiaanse netwerk kan ConsulBrain een inschatting leveren van het projectresultaat. De toepassing op HDD consultancy is onvoldoende om tot juiste schattingen te komen.	Voldoende mits doorontwikkeld.

Tabel 7.6: doorontwikkelpunten ConsulBrain

7.3 Zwakke punten

De zwakke punten van het ConsulBrain model zijn de eigenschappen van het model die niet of maar matig voldoen aan het programma van eisen.

1. Het systeem moet geëvalueerd worden aan de hand van aantal testcases.	In dit onderzoek is een eerste toepassing uitgevoerd op HDD consultancy. Hiermee zijn de mogelijkheden van het model aangetoond. Echter de uitkomsten van de toepassing zijn onvoldoende om het model te evalueren.	Voldoet niet.
2. Het systeem moet toekomstige (HDD) kennis eenvoudig kunnen inpassen.	Het procesmodel en Bayesiaanse netwerk kan continu aangepast worden. De veranderingen kosten wel tijd en moeite.	Voldoet gedeeltelijk.
3. Voor elke knoop in het opgestelde causale netwerk moet gelden dat, als alle directe oorzaken van een knoop gegeven zijn, een knoop onafhankelijk is van alle andere knopen, behalve van de directe oorzaken en gevolgen.	Het is zeer waarschijnlijk dat dit niet geldt voor de korte demonstratie van een kwantificeerde Bayesiaanse netwerk.	Voldoet niet.
4. Bayesiaanse netwerk bestaat uit een kwantitatieve gedeelte in de vorm van marginale en conditionele kansverdelingen, waarmee de voorwaardelijke kansverdeling bepaald kan worden.	Van het causaal netwerk is maar een klein onderdeel ingevuld met aangenomen kansverdelingen.	Voldoet Matig.
5. Een Bayesiaanse netwerk moet gebaseerd zijn op gegevens uit de literatuur en meningen van meerdere experts.	Het Bayesiaanse netwerk in de toepassing is vooral enigszins gebaseerd op literatuur en een enkele expertmening.	Voldoet Matig.
6. Kennisacquisitie middels interviewen en observeren van deskundigen.	Kennis is in de toepassing vooral verkregen uit literatuuronderzoek en interviews met experts. Bepaalde observatietechnieken zijn niet uitgevoerd.	Voldoet matig.
7. Daarnaast kunnen bepaalde relatie-verwervingstechnieken worden gebruikt om relaties tussen objecten in een kennisdomein op te sporen.	Deze technieken zijn niet gebruikt in de toepassing van ConsulBrain. Voor de ontwikkeling van een Bayesiaanse netwerk kunnen het belangrijke technieken zijn.	Voldoet niet.
8. Processen moeten vastgelegd zijn in een vaste structuur van input, transformatie en output.	Dit is in de toepassing niet duidelijk gebeurd.	Voldoet niet.
9. De volgorde en afhankelijkheid tussen de processen moeten worden vastgelegd.	In de toepassing niet duidelijk uitgevoerd.	Voldoet niet.
10. Vastleggen van processen in stroomschema's of IDEF-0 modellen.	Is in de toepassing niet gebeurd.	Voldoet niet.

Tabel 7.7: zwakke punten ConsulBrain

8 Conclusie en aanbevelingen

Zorgt ConsulBrain voor kwaliteitsbeheersing van consultancy over het algemeen en van een HDD advies specifiek?

8.1 Conclusies

Over het ConsulBrain model dat is ontwikkeld kan het volgende geconcludeerd worden:

- Met de ontwikkeling van ConsulBrain is aangetoond dat bepaalde externe ontwikkelingen zoals GeoBrain, ook toepasbaar kunnen zijn voor de interne organisatie.
- De database in het ConsulBrain model kan worden gebruikt als een checklist, zodat tijdens een project geen activiteit of kennisonderdeel door een adviseur over het hoofd worden gezien. Tevens is het zichtbaar welke kennis nodig is om een consultancy uit te voeren.
- De Bayesiaanse netwerken en het procesmodel zijn een eenvoudig te gebruiken beslissingsondersteunend hulpmiddel tijdens consultancy. Er kan snel een schatting worden gemaakt van de te verwachten onzekerheden. Bovendien zijn de effecten van eventuele maatregelen op de kwaliteit te bepalen. Met een procesmodel kan een adviseur de activiteiten vinden die hij moet uitvoeren voor zijn HDD advies.
- Zowel de database als de Bayesiaanse netwerken voor ConsulBrain HDD zijn onvoldoende gevalideerd. Voor een bruikbaar model moeten de vastgelegde processen, de structuur van het netwerk en de inhoud van de kanstabellen worden gevalideerd aan meerdere expertmeningen en praktijkervaringen.
- Het ConsulBrain model is generiek opgebouwd, zodat het eenvoudig toe te passen is bij verschillende soorten consultancy. De onderdelen zoals kennisacquisitie, procesanalyse, risicoanalyse en Bayesiaanse netwerken zijn voor elke soort consultancy te gebruiken.
- Voor de consultancy van HDD is een specifieke uitwerking opgesteld, waarin de kennis over het onderwerp is vastgelegd in processen. Voor de belangrijkste risico's binnen een HDD consult is een structuur van een Bayesiaanse netwerk opgesteld. Voor het risico "onvoldoende onderzoek voor HDD advies" zijn een aantal fictieve kansverdelingen vastgelegd in de kanstabellen. Ondanks dat het resultaat niet betrouwbaar is, kan men hiermee de werking van een Bayesiaanse netwerk gedemonstreerd worden.
- ConsulBrain is een expertsysteem omdat het de vier onderdelen ervan onderscheidt van een inputsysteem, een opslagmedium, een onderdeel van kunstmatige intelligentie en een outputsysteem. Daarmee kan het kennis verzamelen, vastleggen en toepassen, zodat het een mogelijke oplossing biedt voor het kennisprobleem.
- Daarnaast leidt ConsulBrain tot het bereiken van een topkwaliteit in een professionele organisatie, omdat het model kennis standaardiseert en vastlegt aan de hand van processen.
- ConsulBrain is een onderdeel voor interne kwaliteitszorg. Risicogestuurd en procesmatig werkmethoden zijn namelijk ook onderdelen in andere kwaliteitsmodellen als GeoQ, Six Sigma en Kwaliteitskostenmodel.

- ConsulBrain beheerst kwaliteit want de toepassing zorgt voor het vastleggen van de mate van eigenschappen van een consult die aan bepaalde eisen moeten voldoen. De eigenschappen zijn vastgelegd in de processen. Het begrip “mate” geeft aan dat de eigenschappen een bepaalde verdeling hebben. Deze verdeling komt in het resultaat van een Bayesiaanse netwerk naar voren.

8.2 Aanbevelingen

- Aanbevolen wordt om de doorontwikkel- en zwakke punten uit tabel 7.6 en tabel 7.7 te verbeteren door het procesmodel en Bayesiaanse netwerk verder te ontwikkelen. Deze punten kunnen gebruikt worden voor het opstellen van onderzoeksvragen voor toekomstige onderzoek.
- Stel dat het procesmodel en Bayesiaanse netwerk in de nabije toekomst worden doorontwikkeld, dan wordt aanbevolen om het model gelijktijdig door verschillende experts met dezelfde projectproblematiek te laten gebruiken. De uitkomsten hiervan kunnen aantonen of de toepassing van ConsulBrain daadwerkelijk zorgt voor adviseur onafhankelijk consultancy.
- Om te bepalen of ConsulBrain daadwerkelijk geschikt is voor generiek gebruik, wordt aanbevolen om in een toekomstige studie het model toe te passen op verschillende soorten consultancy. Uitkomsten van toepassingen kunnen vervolgens worden gebruikt om het model te verbeteren.
- Om aan te tonen dat een ConsulBrain toepassing daadwerkelijk kwaliteit van een consultancy beheerst en een oplossing vormt voor het kennisprobleem, moet het door een kennisintensieve dienstverlener voor een langere tijd toegepast worden. De uitkomsten van het gebruik van ConsulBrain zullen aantonen of het model daadwerkelijk zijn doelen bereikt.

Literatuurlijst

- Barends (2005), *Associatin with advancing insight, Terzaghi oration*, GeoDelft – TuDelft.
- Beetstra (2002), *Kennis ontwikkelen is vooruitzien*, GeoDelft, Delft;
- Bles (2003), *Risico's bij uitvoering paalfunderingen*, Universiteit Twente, faculteit Civiele Techniek/GeoDelft, Delft;
- Bonnet (1987), *Kunstmatige intelligentie; verwachtingen en werkelijkheid*, Addison-Wesley Nederland, Amsterdam;
- Bossink (1993), *Kwaliteitsmanagement in beeld*, Kluwer, Deventer;
- Brandt (2003), *Procesmanagement als pijler van uitmuntendheid*, www.amelior.be;
- Castillo e.a. (1997), *Expert systems and probabilistic network models*, New York, Springer;
- C.J. Coumou (2000), Risicoanalyse als onderdeel van de Risk Control Method (RCM), een methode voor risicomangement, A.I.V. Control, juni en Praktijkgids De Controller & Informatiemanagement, augustus;
- Crosby (1980), *Quality is free; the art of making quality certain*, Penquin, New York;
- CUR-rapport (2003), *Bepaling geotechnische parameters*, Stichting CUR, Gouda;
- Desouza (1979), *Managing knowledge with artificial intelligence: an introduction with guidelines for nonspecialists*, London, Quorum Books;
- Donkers (1997), *Beslissen bij onzekerheid*, Universiteit Maastricht, Faculteit Algemene Wetenschappen, Vakgroep Informatica, Maastricht;
- Dorr (2002), *Presteren met processen*, Kluwer, Deventer;
- Garvin (1984), *What does 'Product Quality' really mean?*, Sloan Management Review;
- GeoBrain team (2004), *GeoBrain businessplan*, GeoDelft, Delft;
- GeoDelft e.a. (2000), *BTL-rapport 50; Handboek Horizontaal Gestuurde Boren*;
- Gieskes e.a. (2001), *Kwaliteitsmanagement in beweging*, Kluwer, Deventer;
- Hardjono e.a. (2001), *Management van processen; Identificeren, Besturen, Beheersen en Vernieuwen*, Kluwer;
- HDD adviesgroep GeoDelft (2004-2005), *HDD-rapportages*, GeoDelft, Delft
- Hemmen (2002), *Ervaringskennis is essentieel voor kwaliteitsverbetering geotechniek*, GeoDelft, Delft;
- Hergarden e.a. (2000), *Handboek Horizontaal Gestuurd Boren-HDD*, GeoDelft, Delft
- Hölcher (2003), *Expertmeningen geïntegreerd met fuzzy logic*, GeoDelft, Delft;

- Hunt (1996), *Processmapping; how to reengineer your business processes*, John Wiley & Sons;
- Juran (1995), *Managerial breakthrough; the classic book on improving management performance*, McGraw-Hill, New York;
- Lobbrecht e.a. (2002), *Kunstmatige intelligentie in het waterbeheer*;
- Maas e.a. (1995), *Kwaliteit in de kennisintensieve dienstverlening*, Kluwer Bedrijfsinformatie, Deventer;
- Maccabiani e.a. (2003), *Verkenning van nieuwe technieken in de geotechniek; casestudie neurale netwerk*, GeoDelft, Delft;
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1995), *Handleiding Wegenbouw Ontwerp Onderbouw: Richtlijn Boortechnieken*;
- Mintzberg (1979), *The structuring of organisations*, Prentice-Hall, London;
- Muntinga e.a. (1998), *Instrumenten voor modern kwaliteitsmanagement*, Kluwer Bedrijfsinformatie, Deventer;
- Neijzen e.a. (1989), *Kwaliteitszorg in dienstverlenende organisatie; De klant is koning maar wie maakt er de dienst uit?*, Kluwer Bedrijfsinformatie, Deventer;
- Nieuwenhuis (2003), *The art of management; deel 1 strategie en structuur*, www.the-art.nl;
- NNI (1994), *NEN-ISO 8402; termen en definities*, Nederlands Normalisatie Instituut, Delft;
- NEN 3650-1 (2003)
- Pereboom e.a. (2004), *Risicomanagement bij bodemprojecten*, Bodem: nummer 1;
- Russel e.a. (1995), *Artificial Intelligence; a modern approach*, Prentice-Hall International (UK), London;
- Sanderse e.a. (1999), *Het managen van kennis: Kennis control met de kennislandkaart*, Kennis Management Groep, Capelle a/d Yssel;
- Tillema (2002), *Activity-Based Quality Management; een synthese van kwaliteitsmanagement en activity-based costing*, Van Gorcum bv, Assen;
- Van Dale (2002), *Hedendaags Nederlands; groot woordenboek*, Van Dale lexicografie bv, Utrecht;
- Van Deen (2004), *Handboek IBZ GeoDelft; handboek kwaliteit*, Adviesgroep Kwaliteit, GeoDelft;
- Van Tol (2005), *De bouwput van de toekomst; overlast is in de toekomst verleden tijd*, Geotechniek, nummer 1 jaargang 9;
- Veenliet (1999), *Civieltechnisch ontwerpen reader*, Universiteit Twente, faculteit Civiele Techniek, Enschede;
- Verwijs e.a. (1999), *Kennismaken met kennismanagement*, Telematica Instituut, Enschede;

- Viehöfer (2002), *Tools en methodieken voor geotechnische risicoanalyse als onderdeel van risicomangement (RISMAN)*, GeoDelft;
- Vrijling (1989), *Kwaliteitsborging dringt door in natte waterbouw*, Rijkswaterstaat, Waterbouw;
- Weggeman (1995), *Collectieve ambitie ontwikkeling; verbeteren van het functioneren van kennisintensieve organisaties door toepassing van een MDS (missie, doelen, strategie)-interventie in het managementproces*, Tilburg University Press, Tilburg;
- Wijchers e.a. (1992), *Kwaliteitsmanagement in de dienstverlening; continue resultaatverbetering als managementstijl*, Kluwer, Deventer;

Webpagina's

- www.adburdias.nl
- www.blomconsultancy.nl
- Geosfeer: intranet GeoDelft
- www.ibisuva.nl
- www.managementissues.com
- www.sigssigma.nl
- www.tql.nl

Bijlage 1

Bayesiaanse netwerk GeoBrain Funderingstechniek

Basisprincipe van het netwerk

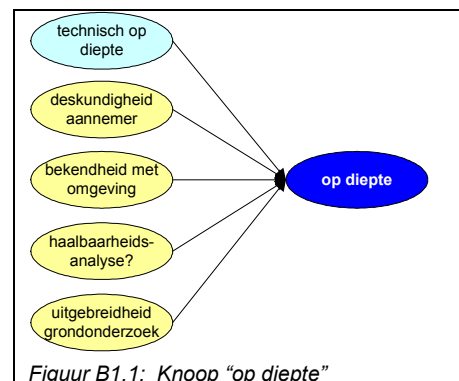
Een paal kan door drie omstandigheden technisch niet op diepte komen:

- De aanwezigheid van buitengewone obstakels;
- Een te grote grondweerstand;
- Optredende materieelschade.

Op diepte komen

Er zijn dus meer factoren die invloed hebben of een paal op diepte kan komen. Naast de factor of een paal technisch op diepte komt, hebben de volgende factoren invloed of een paal uiteindelijk op diepte komt:

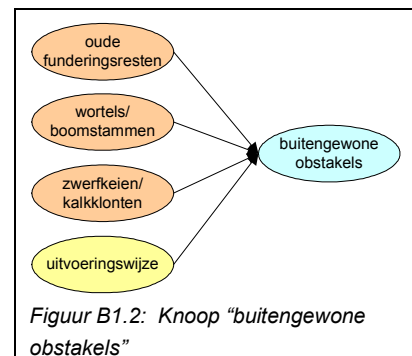
- De deskundigheid van een aannemer;
- De bekendheid met de omgeving;
- De uitgebreidheid van het grondonderzoek;
- De resultaten van een haalbaarheidsanalyse.



Buitengewone obstakels

De factoren die invloed hebben op de knoop "buitengewone obstakels" zijn:

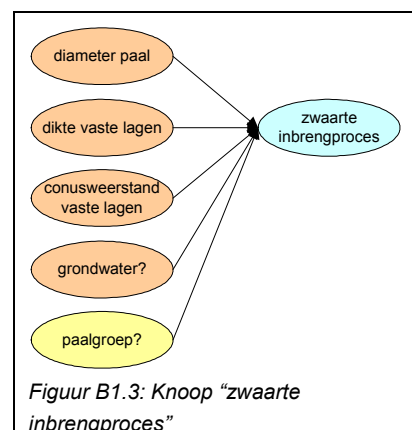
- Oude funderingsresten;
- Aanwezige wortels/boomstammen;
- Aanwezige zwerfkeien/kalkklonten;
- De wijze waarop de paal uitgevoerd wordt.



Zwaarte inbrengproces

De knoop "zwaarte van het inbrengproces" zegt iets over de mate waarop weerstand wordt ondervonden bij het inbrengen van de paal. De belangrijkste factoren die invloed hebben hierop zijn:

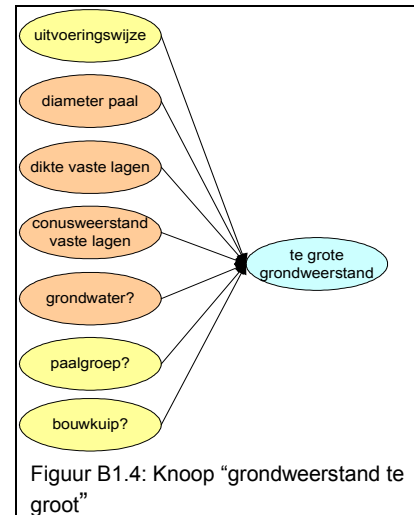
- De diameter van de paal;
- De dikte van de vaste lagen;
- De conusweerstand van de vaste lagen;
- De aanwezigheid van grondwater;
- De aanwezigheid van een paalgroep.



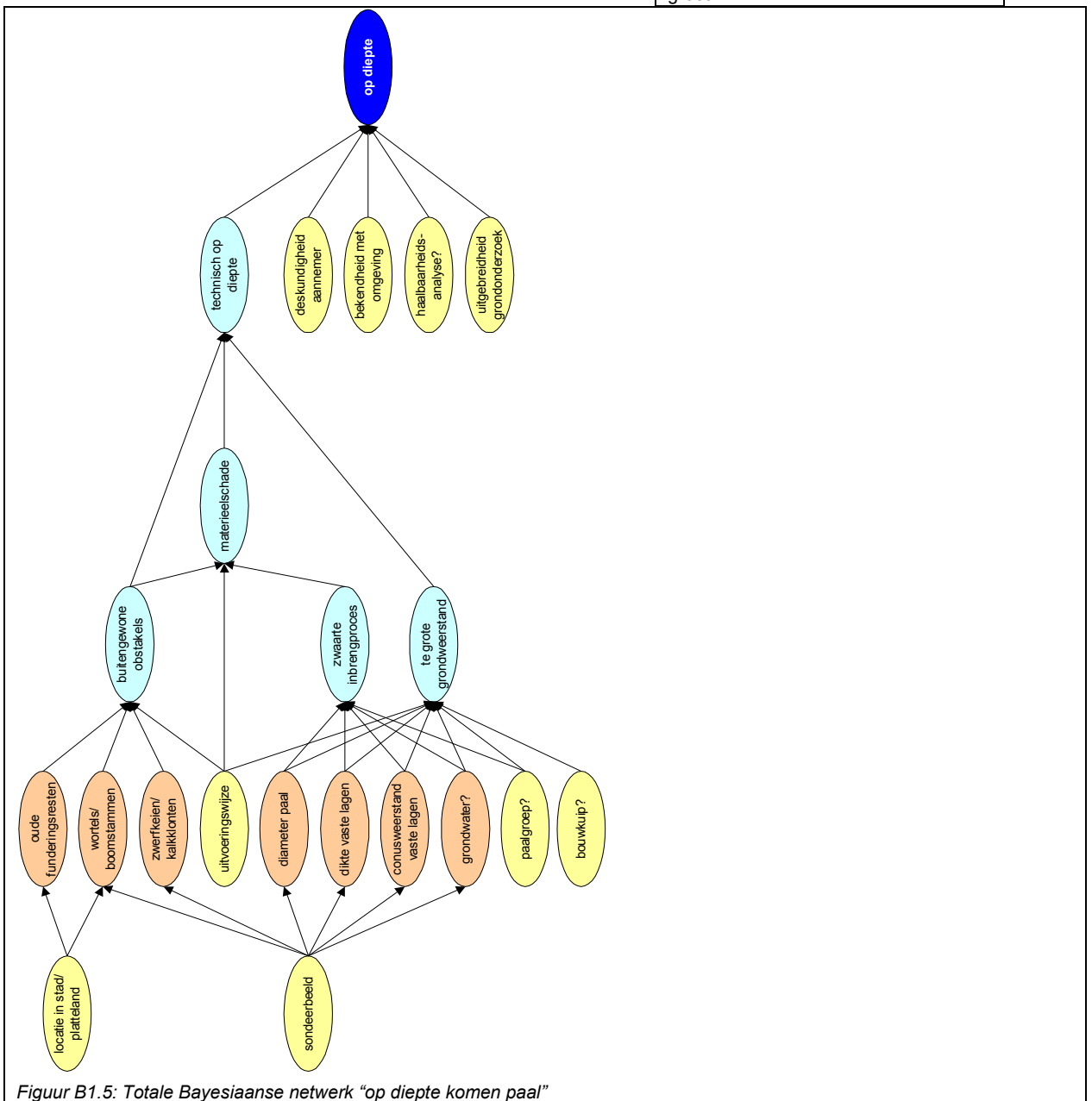
Te grote grondweerstand

Met de knoop “te grote grondweerstand” wordt de invloed van de grond aangegeven. De factoren die hierop invloed hebben zijn:

- Uitvoeringswijze;
- Diameter van de paal;
- Dikte van de vaste lagen;
- Conusweerstand van de vaste lagen;
- Aanwezigheid van grondwater;
- Aanwezigheid van een paalgroep;
- Het bouwen in een bouwkuip.



Figuur B1.4: Knoop “grondweerstand te groot”



Figuur B1.5: Totale Bayesiaanse netwerk “op diepte komen paal”

conditionele kanstabel: knoop "op diepte"						
technisch op diepte	deskundigheid aannemer	bekendheid met omgeving	haalbaarheidsanalyse?	uitgebreidheid grondonderzoek	op diepte	
					ja	nee
ja	deskundig	bekend	positief	uitgebreid	1,000	0,000
				niet uitgebreid	0,980	0,020
			negatief	uitgebreid	0,150	0,850
				niet uitgebreid	0,130	0,870
			niet gedaan	uitgebreid	0,990	0,010
				niet uitgebreid	0,970	0,030
		niet bekend	positief	uitgebreid	0,995	0,005
				niet uitgebreid	0,975	0,025
			negatief	uitgebreid	0,145	0,855
				niet uitgebreid	0,125	0,875
			niet gedaan	uitgebreid	0,985	0,015
				niet uitgebreid	0,965	0,035
	minder deskundig	bekend	positief	uitgebreid	0,990	0,010
				niet uitgebreid	0,970	0,030
			negatief	uitgebreid	0,140	0,860
				niet uitgebreid	0,120	0,880
			niet gedaan	uitgebreid	0,980	0,020
				niet uitgebreid	0,960	0,040
		niet bekend	positief	uitgebreid	0,985	0,015
				niet uitgebreid	0,965	0,035
			negatief	uitgebreid	0,135	0,865
				niet uitgebreid	0,115	0,885
			niet gedaan	uitgebreid	0,975	0,025
				niet uitgebreid	0,955	0,045
nee	deskundig	bekend	positief	uitgebreid	0,950	0,050
				niet uitgebreid	0,930	0,070
			negatief	uitgebreid	0,000	1,000
				niet uitgebreid	0,000	1,000
			niet gedaan	uitgebreid	0,075	0,925
				niet uitgebreid	0,055	0,945
		niet bekend	positief	uitgebreid	0,945	0,055
				niet uitgebreid	0,925	0,075
			negatief	uitgebreid	0,000	1,000
				niet uitgebreid	0,000	1,000
			niet gedaan	uitgebreid	0,050	0,950
				niet uitgebreid	0,030	0,970
	minder deskundig	bekend	positief	uitgebreid	0,940	0,060
				niet uitgebreid	0,920	0,080
			negatief	uitgebreid	0,000	1,000
				niet uitgebreid	0,000	1,000
			niet gedaan	uitgebreid	0,025	0,975
				niet uitgebreid	0,005	0,995
		niet bekend	positief	uitgebreid	0,935	0,065
				niet uitgebreid	0,915	0,085
			negatief	uitgebreid	0,000	1,000
				niet uitgebreid	0,000	1,000

			niet gedaan	uitgebreid	0,000	1,000
				niet uitgebreid	0,000	1,000

Tabel 5.1.1: conditionele kanstabel

Aan de hand van deze tabel kan men bijvoorbeeld nu de volgende voorspelling maken: Stel dat een prefab paal technisch wel op diepte komt. De aannemer deskundig is maar niet bekend is met de omgeving. Daarbij is geen haalbaarheidsanalyse gemaakt en is het grondonderzoek niet uitgebreid uitgevoerd. Met deze gegevens voorspelt het model de kans dat de prefab paal op diepte komt op 0,965.

Stel nu dat een prefab paal technisch niet op diepte komt. De aannemer niet zo deskundig is maar wel bekend is met de omgeving. Een haalbaarheidsanalyse is niet gemaakt, maar er is wel een uitgebreid grondonderzoek voorhanden. Nu is de kans dat de prefab paal wel op diepte komt: 0,025.

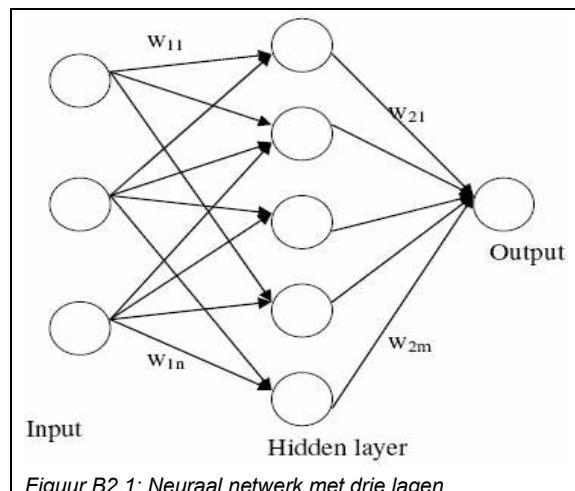
Bijlage 2

Neurale netwerken GeoBrain “Dijken zuidwest Nederland”

Neurale netwerken zijn zeer uitgebreide en onderling verbonden netwerken van neuronen (Lobbrecht e.a., 2002), (Russel e.a., 1995). Een kunstmatig neuraal netwerk bestaat uit verschillende zeer eenvoudige neuronen (knopen) met een hoge mate van onderlinge verbinding waarover simpele berichten verzonden worden. Ieder neuron uit een bepaalde laag heeft verbinding met alle neuronen uit de laag ervoor. Iedere verbinding heeft een bepaalde overdrachtsfunctie, de som van alle ingangswaarden maal hun overdrachtsfunctie bepaalt de waarde van het neuron zelf. De overdrachtsfunctie geeft het gewicht van de verbinding aan, hoe sterk het signaal via die verbinding aankomt bij het doelneuron, en kan positief (stimulerend) of negatief (remmend) zijn. Dit betekent dat een neuraal netwerk te verbeteren ofwel te trainen is.

Een typisch neuraal netwerk bestaat uit drie lagen neuronen, een ingangslaag, een tussenlaag en een uitgangslaag. Het aantal ingangsnuronen is gelijk aan het aantal ingangsvariabelen, het aantal uitgangsnuronen wordt bepaald door het aantal gewenste uitgangsposties. Hieronder wordt een eenvoudig schema weergegeven om het principe te verduidelijken.

De gewichten en/of parameters worden geschat of getraind. Voor deze training zijn een groot aantal voorbeelden nodig. Deze voorbeelden zijn rijen uit een databank, die bestaan uit inputwaarden en outputwaarden. Vervolgens wordt getracht een zo goed mogelijk neurale netwerk te krijgen door die rijen aan het neurale netwerk aan te bieden. Met willekeurige gewichten en parameters zal het neurale netwerk een output waarde geven die ver van de gewenste output ligt. Door de gewichten en parameters te sturen wordt langzamerhand de gewenste output verkregen. Uiteindelijk is voor ieder paar neuronen (bijvoorbeeld A,B) in het netwerk een overdrachtsfunctie gedefinieerd, in het eenvoudigste geval een simpele coëfficiënt, die aangeeft hoe het vuren van A invloed heeft op B.



Bij de training moet trouwens worden opgelet voor zogenaamde “overfitting”. Dit doet zich voor wanneer er in de trainingsdatabank veel uitzonderingen, speciale gevallen of kleine fouten voorkomen. De bedoeling van de training is om een neurale netwerk te krijgen dat het werkelijke model zo goed mogelijk modelleert, en dus niet een neurale netwerk dat zich specialiseert in uitzonderingen. Een goed neurale netwerk moet dus niet perfect voorspellen welke output bij welke input uit onze databank hoort, maar moet voorspellen welke output hoort bij behorende input uit de reële wereld komt. Om de reële data te simuleren kan gebruik worden gemaakt van een testdatabank. De originele databank wordt in tweeën verdeeld, bijvoorbeeld 67% voor training en 33% als test set.

Het grote deel van neurale netwerken is dat niet lineaire problemen worden opgelost, waarvoor geen oplossingsalgoritme bestaat of waarvoor vanwege de complexiteit grote vereenvoudigingen moeten worden doorgevoerd

Een nadeel van een neurale netwerk is de moeilijke interpreteerbaarheid omwille van de “hidden layer”. Dit fenomeen staat bekend als een black box. Het principe van een black box is

dat de gebruiker een input geeft en een output terugkrijgt, zonder dat hij inzicht heeft in de interne logica. De kennis van het getrainde netwerk bestaat namelijk uit de exacte configuratie van een groot aantal coëfficiënten waaraan verder niet zoveel waar te nemen is.

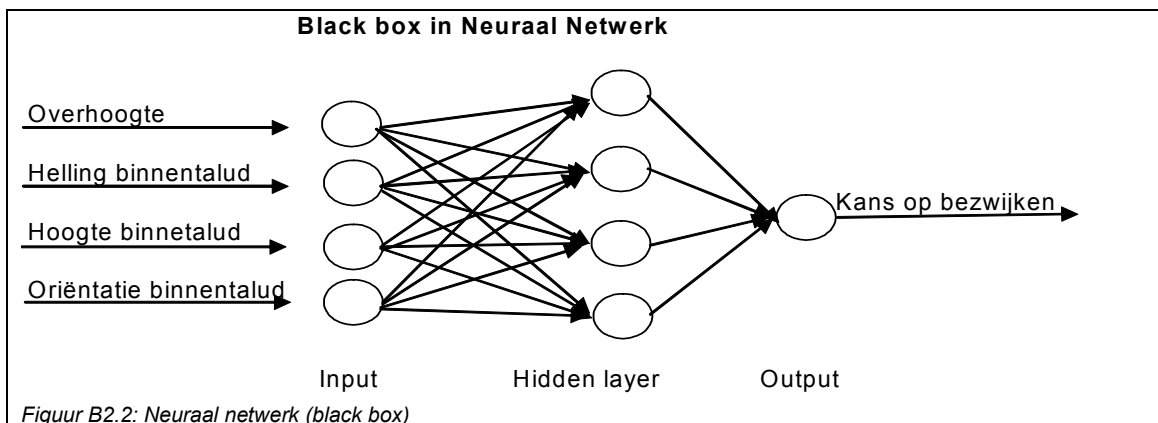
Toepassing

Sommige geotechnische vraagstukken zijn zo complex en/of de relevante parameters zo moeilijk te bepalen zijn, dat de huidige kennis en modellen daarvoor niet goed genoeg zijn. Hoewel door onderzoek en ervaring langzaam vooruitgang wordt geboekt, wordt binnen GeoDelft dus de laatste tijd regelmatig de vraag gesteld of de toepassing van neurale netwerken kan leiden tot nieuwe oplostechnieken.

Om dit te onderzoeken hebben Maccabiani e.a. (2003) onderzocht of aan de hand van een neuraal netwerk op basis van de ervaringsgegevens over de dijken tijdens de stormramp in 1953, een uitspraak kan worden gedaan over de stabiliteit van binnentaluds bij overloop en overslag.

In de praktijk blijken dijken sterker te zijn dan berekend, zelfs wanneer geavanceerde modellen worden gebruikt. In deze GeoBrain toepassing worden voor een aantal huidige Zeeuwse dijken, met gegevens van de stormvloed van 1953, de actuele sterkte bepaald met een neuraal netwerk. Toentertijd bleek het mechanisme “bezijken binnentalud door golfoverloop en golfoverslag” maatgevend te zijn.

In het neuraal netwerk is data van GeoDelft over 90 dijken gebruikt, dat bestaat uit gegevens met betrekking tot geometrie, locatie, waterniveau en wel of niet falen van de dijken in 1953.



Met deze data schatte het neurale netwerk een faalkans van 85%. Met de beschikbare historische geometrische gegevens van de dijken en de informatie over het al dan niet bezwijken werd echter geen resultaat gevonden dat bevredigend genoeg was vanuit het oogpunt van de fysica. Maccabiani e.a. (2003) concludeerden onder andere dat de gebruikte gegevens te beperkt in aantal en te onnauwkeurig waren. Ook hadden de onderzoekers geen genoeg informatie om het model voldoende te trainen.

Deze conclusie bevestigt nogmaals dat men veel nauwkeurige data nodig heeft om een goed functionerende neurale netwerk te krijgen.

Bijlage 3

Foto's HDD



Figuur B3.1: Boorstelling bij door damwanden omringd booringang



Figuur B3.2: Boorvloestof bij booringang



Figuur B3.3: boorkoppen



Figuur B3.4: intrekken boorkop



Figuur B3.5: Bundel PE-leidingen wat wordt ingetrokken onder een kanaal



Figuur B3.6: Bundel PE-leidingen wat wordt ingetrokken



Figuur B3.7: Bundel PE-leidingen wat wordt ingetrokken

Bijlage 4

Risicoanalyse HDD-consultancy

Verdeling van risico's in verschillende groepen:

	Geotechnisch	K	G	S
1	Uitvoeren van onvoldoende grondonderzoek	5	4	20
3	Onjuiste bepaling verloop maaiveld of onderwaterbodem	3	5	15
4	Onjuiste bepaling grondgesteldheid tussen onderzoekspunten	3	4	12
9	Niet onderkennen van obstakels in ondergrond	2	5	10
10	Het maken van aannames voor samenstelling boorvloeistof	5	2	10
12	Het niet onderzoeken van invloed op de omgeving	3	3	9
13	Verkeerde interpretatie grond(onderzoek)	2	4	8
14	Onvoldoende rekening houden met grondrisico's voor uitvoering	2	4	8
23	Maximale en minimale muddrukken worden niet goed berekend	1	5	5
25	Geen kennis over ophogingen uit verleden met onbekende zettingen	4	1	4
28	Geen rekening houden met bodemverontreiniging	1	3	3

Tabel B4.1: geotechnische risicoanalyse

	Geohydrologie	K	G	S
2	Onjuiste bepaling grondwaterspanning	4	4	16
5	Onjuiste bepaling grondwaterkwaliteit (zout/zoet)	3	4	12
10	Het maken van aannames voor samenstelling boorvloeistof	5	2	10
12	Het niet onderzoeken van invloed op de omgeving	3	3	9
14	Onvoldoende rekening houden met grondrisico's voor uitvoering	2	4	8
22	De kwelproblematiek wordt niet bestudeerd	1	5	5
23	Maximale en minimale muddrukken worden niet goed berekend	1	5	5
24	Onvoldoende grondwatergegevens freatisch vlak	4	1	4
28	Geen rekening houden met bodemverontreiniging	1	3	3

Tabel B4.2: geohydrologische risicoanalyse

	Ontwerptechnisch	K	G	S
3	Onjuiste bepaling verloop maaiveld of onderwaterbodem	3	5	15
7	Onjuist verloop van leidingtracé	3	4	12
11	Onjuiste bepaling van diepte van te kruisen constructie	2	5	10
16	Ontworpen boogstraal is niet uitvoerbaar	2	4	8
21	Onjuiste bepaling afmetingen leidingen en boorgat	1	5	5
23	Maximale en minimale muddrukken worden niet goed berekend	1	5	5
25	Geen kennis over ophogingen uit verleden met onbekende zettingen	4	1	4
27	De diameter van een boorstang wordt aangenomen	2	2	4

Tabel B4.3: ontwerptechnische risicoanalyse

	Adviesproces	K	G	S
6	Ondoordacht gebruik van tabel 1 NEN 6740	3	4	12
15	Onvoldoende interne communicatie tussen adviseur en geolab	2	4	8
17	Gegevens worden verkeerd ingevoerd in software	3	2	6
18	Kennis in NEN normen is niet overzichtelijk	2	3	6
19	Grondonderzoek gegevens zijn laat beschikbaar voor adviseur	5	1	5
20	Grondmechanische parameters niet goed berekend	1	5	5
26	Ervaring HDD advies is intern niet breed verspreid	2	2	4

Tabel B4.4: risicoanalyse adviesproces

	Uitvoerbaarheid boring	K	G	S
8	Onvoldoende rekening houden met uitvoerbaarheid in praktijk	3	4	12
12	Het niet onderzoeken van invloed op de omgeving	3	3	9
14	Onvoldoende rekening houden met grondrisico's voor uitvoering	2	4	8
16	Ontworpen boogstraal is niet uitvoerbaar	2	4	8

Tabel B4.5: risicoanalyse uitvoerbaarheid boring

Bijlage 5

Kanstabellen BN “Onvoldoende onderzoek HDD advies”

Uitgevoerde projecten nabij boorlocatie	
Geen projecten	0,25
1-2 projecten	0,25
3-4 projecten	0,25
Meer dan 5 projecten	0,25

Aantal uitgevoerde projecten	
Minder dan 1 project	0,2
1-3 projecten	0,2
3-8 projecten	0,2
8-20 projecten	0,2
Meer dan 20 projecten	0,2

Studieachtergrond	
Niet relevant	0,17
Geotechnisch	0,17
Hydrologisch	0,17
Geologisch	0,17
Civiele techniek	0,17
Mijnbouwkunde	0,17

Aantal weken projecttijd	
Minder dan 1 week	0,25
2 weken	0,25
3 weken	0,25
Meer dan 3 weken	0,25

Grondonderzoek	
Onvoldoende	0,3
Voldoende	0,7

Hydrologisch onderzoek	
Onvoldoende	0,4
Voldoende	0,6

	Bekendheid boorlocatie	
	Bekend	Onbekend
Geen projecten	0	1,0
1-2 projecten	0,35	0,65
3-4 projecten	0,7	0,3
Meer dan 5 projecten	1,0	0

	Ervaring HDD	
	Voldoende	Onvoldoende
Minder dan 1 project	0	1,0
1-3 projecten	0,1	0,9
3-8 projecten	0,2	0,8
8-20 projecten	0,5	0,5
Meer dan 20 projecten	1,0	0

	Geohydrologische kennis	
	Voldoende	Onvoldoende
Niet relevant	0	1,0
Geotechnisch	0,5	0,5
Hydrologisch	0,65	0,35
Geologisch	0,15	0,85
Civiel techniek	0,6	0,4
Mijnbouwkunde	0,4	0,6

Geologische kennis		
	Voldoende	Onvoldoende
Niet relevant	0	1,0
Geotechnisch	0,35	0,65
Hydrologisch	0,25	0,75
Geologisch	1,0	0
Civiel techniek	0,5	0,5
Mijnbouwkunde	0,6	0,4

Projecttijd		
	Voldoende	Onvoldoende
Minder dan 1 week	0,1	0,9
2 weken	0,6	0,4
3 weken	0,85	0,15
Meer dan 3 weken	1,0	0

Deskundigheid adviseur					
Bekend boorlocatie	Ervaring HDD	Geohydrologische Kennis	Geologische kennis	Voldoende deskundigheid	Onvoldoende Deskundigheid
Bekend	Voldoende	Voldoende	Voldoende	1,0	0
Bekend	Voldoende	Voldoende	Onvoldoende	0,9	0,1
Bekend	Voldoende	Onvoldoende	Voldoende	0,9	0,1
Bekend	Voldoende	Onvoldoende	Onvoldoende	0,75	0,25
Bekend	Onvoldoende	Voldoende	Voldoende	0,75	0,25
Bekend	Onvoldoende	Voldoende	Onvoldoende	0,4	0,6
Bekend	Onvoldoende	Onvoldoende	Voldoende	0,3	0,7
Bekend	Onvoldoende	Onvoldoende	Onvoldoende	0,1	0,9
Onbekend	Voldoende	Voldoende	Voldoende	0,9	0,1
Onbekend	Voldoende	Voldoende	Onvoldoende	0,85	0,15
Onbekend	Voldoende	Onvoldoende	Voldoende	0,75	0,25
Onbekend	Voldoende	Onvoldoende	Onvoldoende	0,4	0,6
Onbekend	Onvoldoende	Voldoende	Voldoende	0,6	0,4
Onbekend	Onvoldoende	Voldoende	Onvoldoende	0,25	0,75
Onbekend	Onvoldoende	Onvoldoende	Voldoende	0,15	0,85
Onbekend	Onvoldoende	Onvoldoende	Onvoldoende	0	1,0

Kwaliteit adviseur			
Deskundigheid adviseur	Projecttijd	Onvoldoende kwaliteit adviseur	Voldoende kwaliteit adviseur
Voldoende	Onvoldoende	1,0	0
Voldoende	Voldoende	0	1,0
Onvoldoende	Onvoldoende	1,0	0
Onvoldoende	Voldoende	1,0	0

Onderzoek HDD advies				
Kwaliteit adviseur	Grondonderzoek	Hydrologisch onderzoek	Onvoldoende	Voldoende
Onvoldoende	Onvoldoende	Onvoldoende	1,0	0
Onvoldoende	Onvoldoende	Voldoende	0,8	0,2
Onvoldoende	Voldoende	Onvoldoende	0,7	0,3
Onvoldoende	Voldoende	Voldoende	0,6	0,4
Voldoende	Onvoldoende	Onvoldoende	0,9	0,1
Voldoende	Onvoldoende	Voldoende	0,75	0,25
Voldoende	Voldoende	Onvoldoende	0,4	0,6
Voldoende	Voldoende	Voldoende	0	1,0