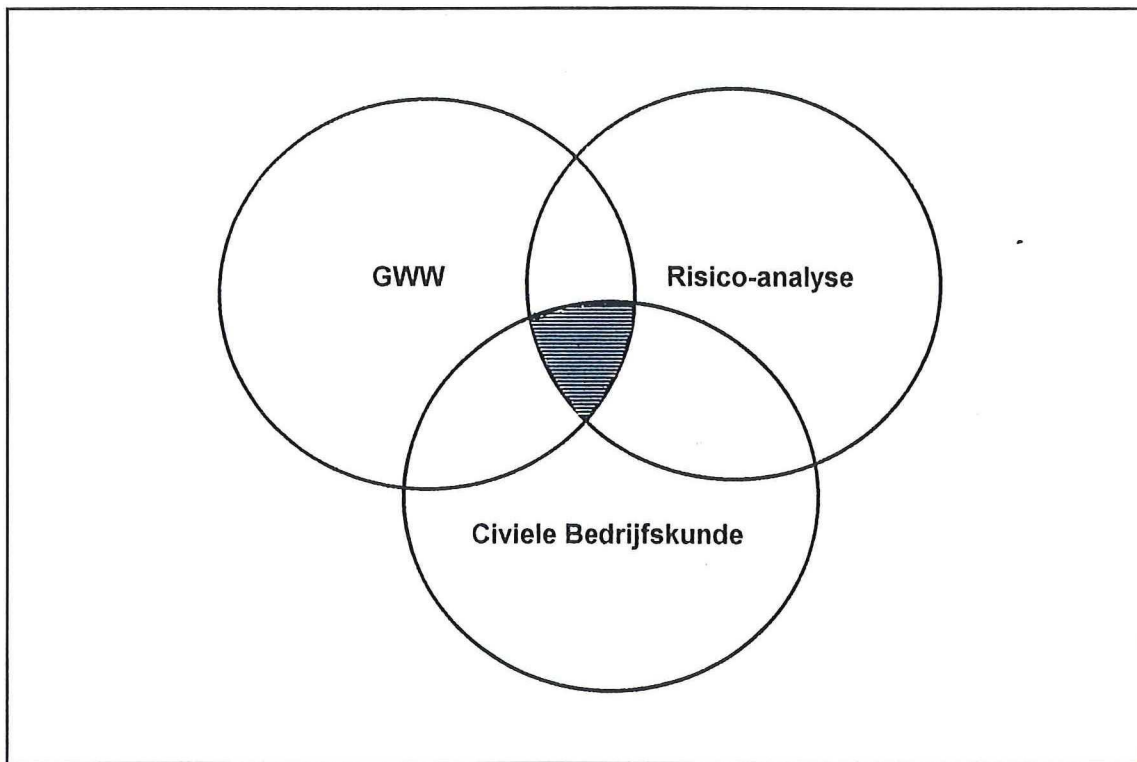




Risico-analyse in de GWW-sector

Pilot studie ter ondersteuning van project voorbereiding op luchthavens



M.G. Spalburg

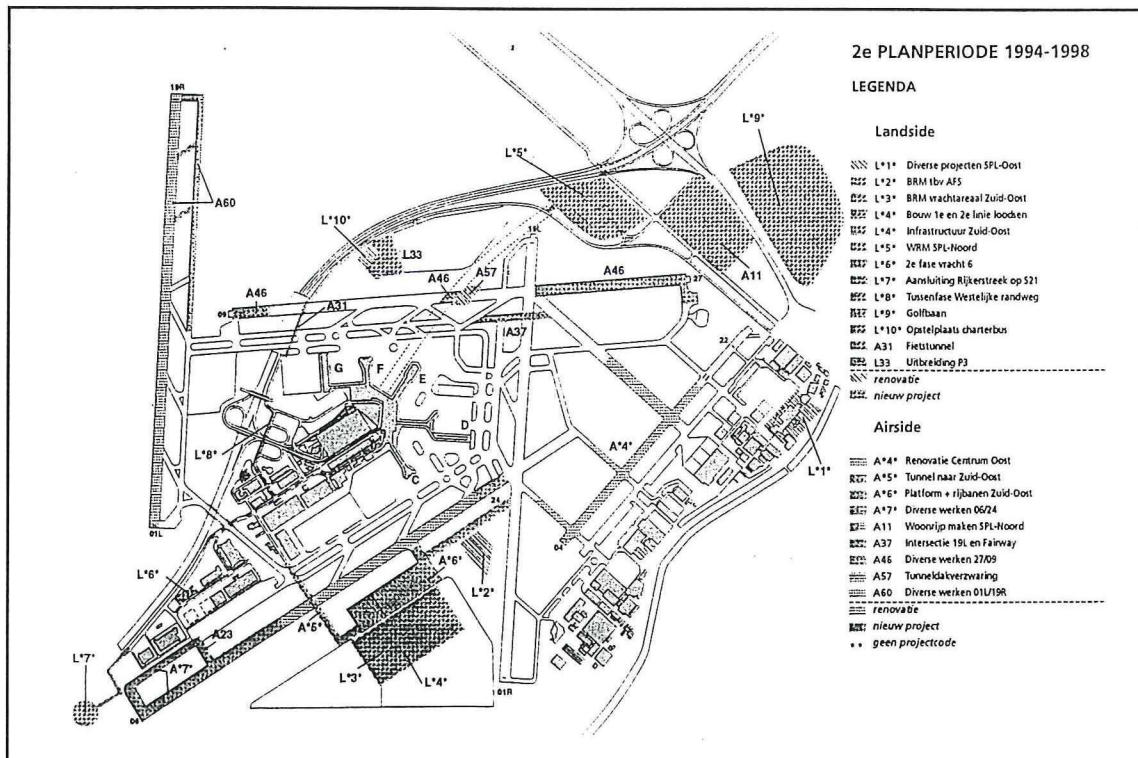
Schiphol



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

Risico-analyse in de GWW-sector

Pilot studie ter ondersteuning van project voorbereiding op luchthavens



M.G. Spalburg

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

Voorwoord

Dit rapport is geschreven als verslag van mijn afstudeeronderzoek "Risico-analyse in de GWW-sector" bij de sectie Civiele Bedrijfskunde, vakgroep Infrastructuur. Deze vakgroep maakt onderdeel uit van de faculteit der Civiele Techniek van de Technische Universiteit Delft.

Het doel van het afstudeerproject is om te onderzoeken of het plannen van projecten probabilistisch kan worden onderbouwd. Er is getracht een praktisch toepasbare methode van risico-analyse te ontwikkelen die als ondersteuning kan dienen bij het voorbereiden en plannen van projecten in de Grond-, Weg- en Waterbouwsector (GWW). In deze studie heb ik mij voornamelijk gericht op de toepassing van risico-analyse als hulpmiddel bij het maken en controleren van planningen. De uitkomsten van dit onderzoek zijn van belang voor PRC management-consultants die onder andere het project-management uitvoeren ten behoeve van de grootschalige uitbreidingen op de luchthaven Schiphol.

Veel dank ben ik verschuldigd aan ir. A. Schouls die mij inwijdde in de keukengeheimen der risico-analyse en ir. E. van der Sluis die dit onderzoek mogelijk maakte. Erkentelijk ben ik voor de getoonde interesse, geboden hulp en faciliteiten tijdens en na de periode van mijn onderzoek voor PRC management-consultants binnen Projecten Bureau Schiphol.

Verder gaat er dank uit naar prof. dr. ir. R.A.F. Smook, voor zijn raad en adviezen, en prof. drs. ir. J.K. Vrijling, voor het opzetten van de risico-berekening. Tot slot nog een woord van dank aan ir. L. Houben.

Heren bedankt.

Schiphol, februari 1995

Marc Spalburg
Hendersonstraat 309
2286 XB Rijswijk
st. nr.: 788376

Het begeleiderteam,

prof. dr. ir. R.A.F. Smook (TU-Delft)
prof. drs. ir. J. K. Vrijling (TU-Delft)
ir. L.J.M. Houben (TU-Delft)
ir. A. Schouls (PBS\PRC)

Samenvatting

De kwaliteit van planning neemt toe met de afname van het verschil tussen werkelijk projectverloop en opgesteld plan. Het plannen van infrastructuurprojecten met als doel het verloop in de tijd en de einddatum te leren kennen is een riskante onderneming. De praktijk leert dat het werkelijk verloop en de werkelijke einddatum zelden exact overeenkomen met het voorgenomen plan. Om de kwaliteit van de planning te waarborgen is het van wezenlijk belang om bij het plannen van infrastructuurprojecten rekening te houden met tal van onzekerheden.

Het onderzoek "Risico-analyse in de GWW-sector" beoogt een bijdrage te leveren aan het optimaliseren en rationaliseren van de voorbereiding van projecten in de Grond-, Weg- en Waterbouwsector (GWW). Het doel van het onderzoek was een praktisch toepasbaar risico-analyse rekenmodel voor PRC management-consultants te ontwikkelen, een zogenaamd Decision Support System, waarmee het plannen van toekomstige droge infrastructuurprojecten inzichtelijk en betrouwbaar wordt.

Hiertoe is, gedurende een periode van vier maanden binnen het Projecten Bureau Schiphol, ondersteunend meegewerkt aan het plannen van diverse concrete uitbreidingsprojecten. Parallel hieraan is onderzoek gedaan naar de behoefte aan en de vorm van het te ontwikkelen risico-analyse model. Deze eisen, wensen en opgedane ervaring zijn mede aan de hand van bevindingen uit de literatuur (betreffende de kennisdomeinen planning en risico-analyse) gesynthetiseerd tot invloedsparameters van het kwantitatief rekenmodel. Deze invloedsparameters (onzekerheden) zijn geïmplementeerd in de vorm van een simulatie-programma "PROBABILISTIC TIME-ESTIMATOR". Dit simulatie-programma is met goed gevolg getest op bekende voorbeelden en vervolgens toegepast op een concreet project voor de luchthaven Schiphol, namelijk "Diverse Werken Zwanenburgbaan".

In de studie naar het kwantitatief rekenmodel is de aandacht voornamelijk uitgegaan naar de fase van uitvoering van een willekeurig droog infrastructuurproject en het projectbeheersaspect (uitvoerings)tijd. Wel is een eerste aanzet gegeven om deze gecombineerde methode te kunnen inzetten voor zowel andere fasen van het project als overige projectbeheersaspecten (o.a. geld en kwaliteit).

De werking van dit kwantitatieve rekenmodel is gebaseerd op het meenemen van twee soorten onzekerheden in de tijdsraming. Ten eerste betreft dit normale onzekerheden zoals die bij ieder willekeurig GWW-project van enig formaat worden waargenomen. Deze normale onzekerheden komen voornamelijk tot uiting in de vorm van spreidingen in hoeveelheden te verwerken materiaal en voorgenomen produkties. Ten tweede houdt de rekenmethode bij het ramen van de uitvoeringsduur expliciet rekening met het optreden van diverse bijzondere gebeurtenissen. Deze bijzondere gebeurtenissen, onder andere voorkomend als calamiteiten, leiden tot vertragingen en verstoringen van het bouwproces. Met behulp van simulatie kunnen de vastgestelde zekerheden en eerder genoemde onzekerheden worden gecombineerd tot een marge rond de uitvoeringsduur van een project.

Het simulatie-programma PTE maakt de tijdsgrenzen waarbinnen de uitvoeringsduur zal liggen helder en geeft tegelijkertijd de mogelijkheid de berekende uitvoeringsduur te koppelen aan de kans van overschrijding. Daarnaast geeft dit programma het pad (of lees paden) aan dat de grootste kans van optreden heeft en daarom in de praktijk waarschijnlijk het meest maatgevend (kritiek) zal zijn. Verder duidt de simulatie het pad aan dat hoofdverantwoordelijk voor de spreiding van de bouwtijd moet worden geacht. Ook kan er per pad een analyse worden gemaakt van de absolute en relatieve ernst van de activiteiten gelegen op dat pad.

De 2 belangrijkste voordelen van deze kwantitatieve vorm van risico-analyse zijn:

- * ten eerste; de mogelijkheid om een planning te controleren, vast te stellen en af te leveren van hoge betrouwbaarheid (kwaliteitsborging).
- * ten tweede; de mogelijkheid om in de planning de absolute en relatieve ernst van de onzekerheden zowel per pad als per activiteit vast te stellen.

Met deze gegevens kan een opdrachtgever onderbouwd beleidsmaatregelen treffen en kunnen onzekerheden in het tijdspad met de aannemer bespreekbaar worden gemaakt. De aannemer krijgt ook een betrouwbare indicatie van de riskante activiteiten en doeltreffende tegenmaatregelen.

Inhoudsopgave

Voorwoord	.....	i
Samenvatting	.....	ii
1	Probleembeschrijving	1
1.1	Algemeen	1
1.2	Inleiding	1
1.3	Probleemstelling	4
1.4	Doelstelling	4
1.5	Randvoorwaarden en uitgangspunten	4
	1.5.1 Randvoorwaarden	4
	1.5.2 Uitgangspunten	5
1.6	Afbakening van het studiegebied	5
1.7	Werkwijze	6
2	Plannen	9
2.1	Algemeen	9
2.2	Inleiding	9
2.3	Aandachtspunten voor het maken van planningen	12
	2.3.1 Algemeen	12
	2.3.2 De opzet van een planning	12
	2.3.3 Het beheersen van de tijdsplanning	15
	2.3.4 Het abstractie-niveau van de tijdsplanning	15
2.4	Intermezzo: Het project FICTION	16
2.5	De tijdsplanning als rekenmodel	18
2.6	De actuele manier van plannen	20
2.7	Conclusies	23
3	Risico-analyse	25
3.1	Algemeen	25
3.2	Inleiding	25
	3.2.1 Herkomst van de wetenschap risico-analyse	25
	3.2.2 Wat is risico-analyse?	27
	3.2.3 Wanneer kan risico-analyse worden toegepast?	27
	3.2.4 Wat kan er bereikt worden met risico-analyse?	28
	3.2.5 Waar kan risico-analyse worden toegepast?	28
3.3	Vormen van risico-analyse	30
	3.3.1 Algemeen	30
	3.3.2 De kwalitatieve benadering	31
	3.3.3 Semi kwantitatieve technieken	31
	3.3.4 Kwantitatieve technieken	32
	3.3.5 Dynamische risico-analyse	33

3.4	Verloop van een risico-analyse	33
3.4.1	Algemeen	33
3.4.2	Risico-vaststelling	34
3.4.3	Risico-bepaling	35
3.4.4	Risico-beheersing	35
3.5	Risico-indelingen	36
3.6	Voorwaarden voor het uitvoeren van een risico-analyse	37
3.7	Bouwstenen voor kwantitatieve analyses	37
3.7.1	Stochastische variabelen	38
3.7.2	Rekenkundig gemiddelde, mediaan en modale waarde	38
3.7.3	De variantie, standaard afwijking en variatie-coëfficiënt	39
3.7.4	Kansdichtheid- en kansverdelingsfunctie	39
3.7.5	Inschatten van onzekerheden	43
3.8	Conclusies	46
4	Het rekenmodel voor risico-analyse op uitvoeringsniveau	47
4.1	Algemeen	47
4.2	Inleiding	47
4.3	Simuleren	49
4.3.1	Wat houdt simulatie in?	50
4.3.2	Wanneer kan simulatie worden toegepast?	50
4.3.3	Monte Carlo simulatie	50
4.4	Berekenen van de uitvoeringsduur	52
4.4.1	De opbouw van het simulatie-model	52
4.4.2	De activiteiten als inputvariabelen	53
4.4.2.1	De normale onzekerheden	54
4.4.2.2	Bijzondere gebeurtenissen	58
4.4.3	De risico-berekening	59
4.5	Aandachtspunten	65
4.5.1	Het gebruik van de simulator PTE	65
4.5.2	Risico-beschouwing	66
4.5.3	Afhankelijkheid en onafhankelijkheid	67
4.5.4	Risico-aversie en modelafwijking	68
4.6	Een toepassing: Het project FICTION	69
4.7	Conclusies	76
5	Kosten van de fase van uitvoering	77
5.1	Algemeen	77
5.2	Inleiding	78
5.3	De opzet van het rekenmodel	78
5.3.1	Kostensoorten	78
5.3.2	Modellering van de kosten	79
5.3.3	Analogie voor simulatie	80
5.4	Afhankelijkheid en onafhankelijkheid	80
5.5	Conclusies	82

6	Risico-analyse op project niveau	83
6.1	Algemeen	83
6.2	Inleiding	83
6.3	De opbouw van het rekenmodel	84
	6.3.1 Kostenraming	84
	6.3.2 Tijdsraming	86
	6.3.3 Analogie voor simulatie	87
6.4	Conclusies	88
7	Conclusies	89
	Nawoord	91
	Begrippenlijst	93
	Literatuurlijst	95
	Bijlagen	97

- Noot 1** *De cursieve woorden in de tekst zijn opgenomen in een verklarende begrippenlijst op bladzijde 93.*
- Noot 2** *De theorie in deze studie wordt verlevendigd aan de hand van een fictief project FICTION. Een ruime omschrijving van dit project is opgenomen in bijlage 1. In deze studie is wegens de actualiteit van het project "Diverse Werken Zwanenburgbaan" hiervan geen verslag opgenomen.*

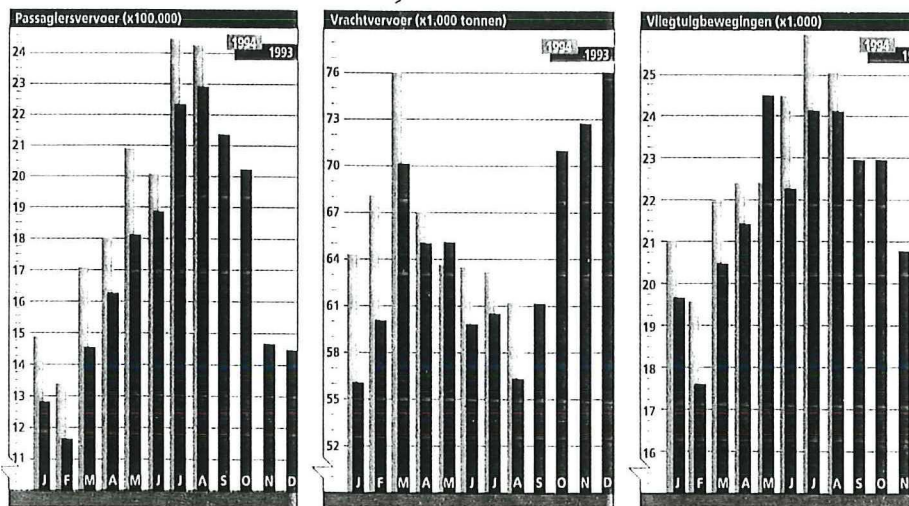
1 Probleembeschrijving

1.1 Algemeen

In dit hoofdstuk worden de achtergronden en het doel van dit afstudeeronderzoek beschreven. Het afstudeeronderzoek richt zich in het algemeen op de invloed van onzekerheden die zich voordoen tijdens de uitvoeringsfase van projecten in de Grond-, Weg en Waterbouwsector en in het bijzonder op de projecten betreffende de uitbreidingen en renovaties van *droge infrastructuur* op de luchthaven Schiphol.

1.2 Inleiding

Het is voor Airport Amsterdam Schiphol van groot belang haar bouwprojecten op tijd gerealiseerd te krijgen. Dit belang houdt verband met onder andere financiële belangen, contractuele verplichtingen en het kunnen aanbieden van voldoende capaciteit aan de gebruikers. Het kunnen aanbieden van voldoende capaciteit past geheel in het streven van de luchthaven Schiphol om uit te groeien tot één van de vier grootste *Mainports* van Europa. Om dit streven te bewerkstelligen zijn de ambitieuze plannen van de luchthaven vastgelegd in het "Masterplan 1989-2004". Deze plannen bestaan uit het uitbreiden van de luchthaven-capaciteit op het gebied van vervoer en verkeer via land en lucht. De uitbreidingen zijn ondergebracht in een aantal projecten op land- en luchtgebeuren (*Land- en Airside*). Ook op de scheiding hiertussen, de zogenaamde Terminals, zijn er diverse uitbreidingen gaande en gepland ten behoeve van de overslag van personen en goederen. De uitbreidingen van de luchthaven zijn reeds in volle gang. Tevens heeft de verwachte verkeers- en vervoersgroei zich overduidelijk ingezet en worden er steeds weer diverse nationale luchthaven-records verbroken (*zie figuur 1.1*).

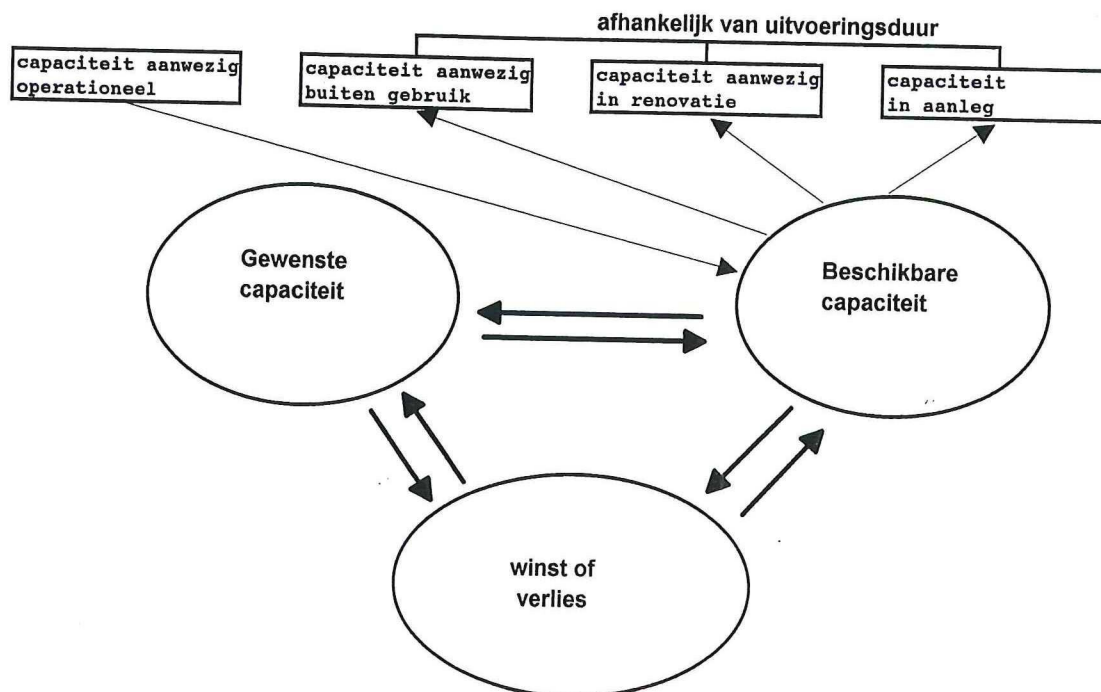


Figuur 1.1 Recente groeicijfers van de luchthaven Schiphol. [Schiphol Courier, 13 oktober 1994]

De tijdsduur benodigd voor een uitbreiding is een belangrijk criterium voor het doen welslagen van het project op zich, alsook voor de luchthaven Schiphol als bedrijf. Het aantal en de omvang van de projecten op Schiphol kunnen momenteel worden getypeerd als één van de grootse bouwactiviteiten-centra in Nederland. In feite is er een grote bouwoperatie gaande binnen een luchthaven in vol bedrijf. Dit impliceert extra complexiteit en vergt de nodige afstemming van zowel de opererende luchthaven als van de diverse aannemingsbedrijven belast met de uitvoering van de uitbreidingen.

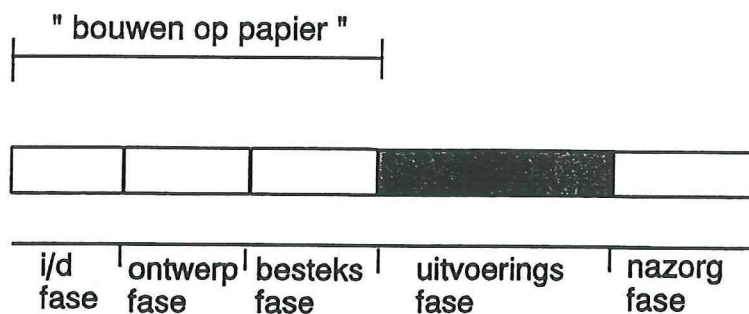
Algemeener kan worden gesteld dat de opleverdatum van een bouwwerk, als afsluiting van de fase van realisatie, een belangrijke mijlpaal is in de levenscyclus van het project. Een belangrijk kenmerk is dat het bouwwerk meestal technisch gereed is en geschikt is of kan worden gemaakt voor gebruik. Een ander aspect is meestal dat de verantwoordelijkheid over het bouwwerk door de opdrachtnemer overgedragen wordt aan de opdrachtgever.

Het slagen van het project in zijn totaliteit, hangt in grote mate af van het halen van de afgesproken opleverdatum. Vooral de opdrachtgever, in dit geval de luchthaven Schiphol, is erg afhankelijk van het moment van opleveren. Het moment van beschikken over het bouwwerk kan het succesvol functioneren van de onderneming van de opdrachtgever sterk beïnvloeden. Dit is te verduidelijken door te veronderstellen dat de beschikbare operationele capaciteit een produktiemiddel is en daarmee direct een inkomstenbron voor de luchthaven Schiphol en indirect voor alle andere aanwezige bedrijven op de luchthaven.



Figuur 1.2 De belangen gerelateerd aan de uitvoeringsduur bij een luchthaven
[Project ontwikkelingsplan Airside 1994-2004]

De luchthaven Schiphol, die reeds een sterke groei van zowel passagiers- en vrachtvervoer als het aantal vliegtuigbewegingen (zie figuur 1.1) doormaakt, heeft behoefte aan voldoende operationele capaciteit teneinde haar klanten te kunnen dienen. Deze beschikbare capaciteit dient daarom overeen te komen met de gewenste capaciteit van dat betreffend moment. De beschikbare capaciteit is een functie van de operationele aanwezige capaciteit (capaciteit in gebruik), capaciteit aanwezig buiten gebruik (vanwege veiligheidsvoorschriften, uitvoering andere projecten), capaciteit aanwezig in renovatie en nieuwe capaciteit (geplande uitbreidingen). Het mag duidelijk zijn dat vooral de tijd benodigd voor de realisatie-fase van de "Airside" projecten belangrijk is voor de omzet en continuïteit van het gehele luchthaven-bedrijf. Merk op dat van "het bouwen op papier" het operationele luchthaven-bedrijf geen directe hinder ondervind (zie figuur 1.3). De tijd nodig voor het realiseren van het bouwwerk bepaalt voor een groot deel ook de kosten van het project. Ter informatie; de kosten voor de fase van uitvoering beslaan bij civiele werken over het algemeen minimaal $\pm 80\%$ van de totale projectkosten.



Figuur 1.3 Opdeling van een bouwproject in fasen

[Wijnen, Projectmatig werken]

In de praktijk wordt voor het schatten van de uitvoeringsduur tot nu toe over het algemeen uitgegaan van een vlot verlopend bouwproces. Meestal wordt stilzwijgend aangenomen dat de kans om de, contractueel vastgelegde, opleveringsdatum op tijd te halen groot is. Gebruikelijk is het om de tijd van oplevering zodanig ruim in te schatten dat een gevoelsmatige tevredenheid wordt bereikt welke gebaseerd is op eerder opgedane ervaringen.

Het vaststellen van de opleveringsdatum voor een bouw-project is afhankelijk van diverse factoren waaronder de prestaties van onderaannemers, leveranties van derden, het verkrijgen van vergunningen, weersomstandigheden, productiesnelheden, etc.

Te late oplevering kan een opdrachtgever, in deze de luchthaven Schiphol, kwetsbaar maken. Het is daarom in de praktijk niet ongebruikelijk dat kwetsbare ondernemingen gebruik maken van boeteclausules. De boeteclausule wordt opgenomen in het contract afgesloten met de aannemer en maakt geen deel uit van de normale begroting. De clausule moet de aannemer stimuleren om te late oplevering te

1.4 Doelstelling

Het doel van dit afstudeeronderzoek is het ontwikkelen van een praktisch toepasbaar risico-analyse rekenmodel waarmee het mogelijk wordt uitvoeringsduren van projecten in de GWW-sector te voorspellen gekoppeld aan een betrouwbaarheidsniveau. Als resultaat van het onderzoek wordt het mogelijk om aan de hand van het rekenmodel plannings- en tijdsgegevens van GWW-projecten met een bijbehorende tijds-garantie op te stellen of bestaande plannings- en tijdsgegevens op betrouwbaarheid te analyseren.

Op deze wijze wordt planvorming inzichtelijk gemaakt, wat resulteert in heldere adviezen, waardoor de besluitvorming rondom GWW-projecten kwalitatief verbetert. Dit zal eventueel leiden tot het nemen van effectieve maatregelen om het tijds-risico en de hiermee samenhangende kosten van een te late oplevering voor opdrachtgever en aannemer te reduceren.

1.5 Randvoorwaarden en uitgangspunten

Daar dit onderzoek zich afspeelt in het kader van het afstuderen aan de TU-Delft en in het belang is van PRC management-consultants c.q. de luchthaven Schiphol zullen beide partijen bepaalde eisen en wensen stellen.

1.5.1 Randvoorwaarden

Onder de randvoorwaarden vallen de beperkingen die opgelegd zijn of waar op korte termijn (binnen het afstudeerproject) niets aan is te doen. De randvoorwaarden zijn :

- * PRC management-consultants als opdrachtgever.
Er wordt een methode voor PRC management-consultants ontwikkeld welke geschikt moet zijn voor toepassing op komende projecten waarbij dit bedrijf betrokken is voor het project-management. Voor een management-consultant bureau als PRC is het van belang om de klant van adviezen van hoge kwaliteit te voorzien; dat betekent onder andere het leveren van betrouwbare plannings- en tijdsgegevens. Voor komende projecten en directer nog, voor meerdere projecten die onderdeel uitmaken van de grootschalige uitbreidingen van de luchthaven Schiphol, kan het rekenmodel gebruikt gaan worden bij het opstellen en controleren van plannings- en tijdsgegevens.
- * De methode moet betrouwbaar doch inzichtelijk en eenvoudig te hanteren zijn.
- * Van vertrouwelijke informatie wordt geen verslag gedaan.
- * Het onderzoek moet van voldoende academisch niveau zijn doch de realiseerbare omvang en diepgang van het onderzoek alsmede de beschikbare tijd voor het afstuderen wordt bewaakt.

1.5.2 Uitgangspunten

Onder de uitgangspunten vallen de beperkingen die aangenomen worden om het onderzoek te vergemakkelijken, tijd te besparen en om zodoende het onderzoek gericht te kunnen laten verlopen. De uitgangspunten zijn :

- * Dit onderzoek gaat uit van projecten waarvan het Programma van Eisen vastligt. Binnen dit PvE is het wel mogelijk onverwachte ontwikkelingen als hoeveelheid- en produktie-fluctuaties te beschouwen. Wijzigingen van het PvE vallen buiten de scope van dit onderzoek.
- * Gegevens worden voor waar aangenomen als deze afkomstig zijn van de diverse erkende instanties op hun eigen specifiek vakgebied.
- * Gebruik zal worden gemaakt van bestaande methoden en technieken uit de vakgebieden risico-analyse en planning.
- * Aan de hand van reeds gerealiseerde projecten en te realiseren projecten worden data- en risico-analyses uitgevoerd.
- * De hoofdstukken over de kennisdomeinen Risico-analyse en Plannen zijn zeker niet compleet. Het zijn summiere samenvattingen bedoeld om het kader waarin het onderzoek zich afspeelt te schetsen. Ze dienen als onder- en achtergrond voor het te ontwikkelen rekenmodel.
Deze delen welke verwijzend zijn geschreven naar de literatuur, dienen als dwarsdoorsnede en inventarisatie van de huidige situatie. Hiervoor is gekozen om niet verzeild te raken in het opnieuw ontdekken van het wiel. Zo moet het mogelijk zijn om de aandacht te concentreren op het nog onbekende.
- * Deze studie bouwt voort op eerder verrichte, vergelijkbare studies.
[Baardwijk van, Risico's: risicovol of niet?]
[Schouls, Risico-analyse in de bouw]

1.6 Afbakening van het studiegebied

Hieronder worden enkele kennis-grenzen aangegeven waarbinnen het onderzoek zich zal voltrekken. Dit om de aandacht te kunnen concentreren op enkele specifieke delen van het probleemgebied. Deze grenzen zijn :

- * **De GWW-sector**
Het studiegebied wordt afgebakend tot de GWW-sector. Dit houdt in dat het onderzoek zich zal concentreren op de plannings van werken in bovengenoemde sector. In een later stadium van het onderzoek zal geprobeerd worden het verband te leggen naar andere sectoren binnen de Civiele Techniek.
- * **Droge infrastructuur**
Binnen de GWW-sector richt het onderzoek zich voornamelijk op de planning van *droge infrastructuur* zoals wegen, startbanen, platforms en grondconstructies zoals die als uitbreidings-projecten voorkomen op de luchthaven Schiphol. Dit zijn op de luchthaven de zogenaamde "*Airside en Landside*" projecten.

- * **Tijd**

In deze studie staat het aspect tijd centraal en daarmee de risico's die van invloed zijn op de tijdsduur van het project. Echter zijn de aspecten tijd, geld en kwaliteit onlosmakelijk met elkaar verbonden. Door het aspect tijd centraal te stellen zal bestudeerd worden hoe de overige aspecten, voornamelijk kwaliteit en geld, hieraan en onderling gekoppeld zijn.
- * **Realisatie-fase project**

Het onderzoek richt zich voornamelijk op tijd-risico's en hun invloed op de duur van de verschillende activiteiten in de uitvoeringsfase van het project. Hiervoor is gekozen omdat de meeste "hinder" voor de luchthaven ontstaat gedurende de realisatie fase van het project. Deze hinder uit zich onder andere in beperkingen van diverse baangebonden activiteiten, baanbeschikbaarheid en de naleving van veiligheidsvoorschriften. Een andere reden om het onderzoek tot de fase van uitvoering te beperken is dat het zwaartepunt van de financiering van de projecten vaak in deze fase is gelegen. In een later stadium zal een beschouwing van risico-analyse op project-niveau plaatsvinden.
- * **Risico-berekening**

De nadruk van dit afstudeerproject ligt op het uitrekenen van risico's. Hiermee wordt bedoeld dat kwantitatieve aspecten van invloedsparameters middels stochastische variabelen zullen worden gemodelleerd.

1.7 Werkwijze

Om goed thuis in het onderwerp en de materie te geraken is een periode van vier maanden dagelijks werken op de luchthaven Schiphol onderdeel geweest van het afstudeerwerk. Dit werken vond plaats binnen het Projecten Bureau Schiphol en hield directe relatie met tal van actuele en in voorbereiding zijnde projecten. Dit heeft geleid tot een grondige en brede kennismaking met *planningstechnieken* en -werkzaamheden in de praktijk. Voor meerdere projecten zijn op diverse abstractie-niveaus tijdsplanningen gemaakt welke als onderlegger dienden voor bemensing-, cash-flow- en grondstof-fenschema's. Tijdens deze periode zijn er diverse gesprekken en interviews met deskundigen geweest die geleid hebben tot de probleem-analyse.

Parallel met het dagelijks werken binnen het Projecten Bureau Schiphol zijn er, onder andere aan de hand van de literatuur, inventariserende studies gepleegd van de GWW-sector en de kennisdomeinen Planning en Risico-analyse. Tevens is een aanzet gemaakt met het opstellen van kengetallen die op tactisch niveau bij de voorbereiding van toekomstige GWW-projecten van belang kunnen zijn.

Tijdens deze periode is ook een aanvang gemaakt met de modellering van de risico's (invloedsparameters) betreffende de uitvoeringsfase van een willekeurig droog infrastructuurproject op de luchthaven. Als afronding van deze fase is er verslag gedaan van de tot dan toe verrichte werkzaamheden.

Het kwantitatieve risico-analyse rekenmodel dat gericht is op een willekeurig GWW-project is vervolgens verder uitgewerkt en heeft zich laten vertalen in het ontwikkelde simulatie-programma PROBABILISTIC TIME-ESTIMATOR. In dit programma zijn mogelijkheden opgenomen om de verschillende vormen van onzekerheid tijdens de fase van uitvoering te simuleren. Dit betreft zowel normale onzekerheden (hoeveelheids- en productie-fluctuaties) als bijzondere gebeurtenissen die vaak gekenmerkt worden door kleine kansen van voorkomen maar met grote gevolgen in tijd en geld. Het simulatie-programma is zodanig opgebouwd dat er verschillende analyses mee kunnen worden uitgevoerd; voor de planning in zijn totaliteit, een bepaald pad binnen de planning en zelfs per activiteit. Het simulatie-programma is met goed gevolg op bekende voorbeelden getest. Bij het bepalen van de vorm is specifiek rekening gehouden met de wensen van de opdrachtgever PRC. Ook is het rekenmodel toegepast op het project "Diverse Werken Zwanenburgbaan" dat onderdeel uitmaakt van het Masterplan 1993-1998 van de luchthaven Schiphol.

De inhoudelijke opbouw van dit rapport begint in hoofdstuk 2 waar wordt ingegaan op het vakgebied Plannen. De essentie van het plannen en enkele belangrijke aspecten ten aanzien van het opstellen van plannen worden behandeld. In hoofdstuk 3 wordt het kennisdomein Risico-analyse bestreken inclusief de technieken hiertoe. Aangegeven wordt "welke methode" "waarvoor" geschikt is. Ook de bouwstenen voor kwantitatieve analyses worden aangereikt.

In hoofdstuk 4, het rekenmodel voor risico-analyse op uitvoeringsniveau, zijn de kennisdomeinen Planning en Risico-analyse versmolten tot het kwantitatieve praktisch toepasbare risico-analyse rekenmodel (het doel van deze studie!).

Hoofdstuk 5 geeft een aanzet hoe de ontwikkelde methode kan worden gebruikt voor een raming van de kosten voor de fase van uitvoering. In hoofdstuk 6 wordt een aanzet gegeven hoe de ontwikkelde methode op een hoger abstractieniveau kan worden ingezet om de kosten en de duur van een project in zijn totaliteit te ramen.

In hoofdstuk 7 staan tenslotte de conclusies vermeld.

2 Plannen

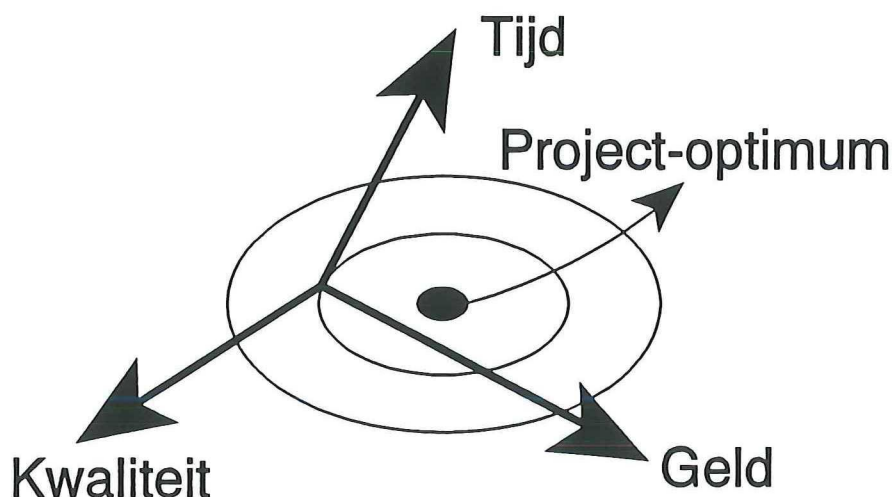
2.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt een samenvatting van het vakgebied *plannen* aangeboden. De achtergronden van dit vakgebied worden verduidelijkt en verschillende vormen van plannen worden genoemd. De theorie in dit hoofdstuk is grotendeels ontleend aan [Smook, bb20 dictaat *Organisatie van het bouwen*]. Ervaring en voorbeelden zijn ontleend aan de praktijk op de luchthaven Schiphol en worden in dit kader slechts illustratief gebruikt. Aan de hand van het fictief project FICTION, waarvan een gedetailleerde omschrijving in *bijlage 1* is opgenomen, zal de theorie worden verlevendigd.

Het op te zetten rekenmodel bouwt voort op reeds bestaande *planningstechnieken*. Het is niet de bedoeling om een nieuw planningsmiddel te ontwikkelen, maar een controlemiddel dat de betrouwbaarheid van een opgezette of op te zetten *planning* analyseert.

2.2 Inleiding

Het voorbereiden van projecten omvat het in kaart brengen van onder andere de benodigde middelen, tijd, personeel, ruimte, kapitaal, kwaliteit, informatie, organisatie en de onderlinge benodigde afstemming van voornoemde aspecten om het project te doen slagen, kortweg genoemd plannen. In andere woorden omvat plannen het vaststellen en vastleggen van de manier waarop men een bepaald vooropgesteld doel wil bereiken.



Figuur 2.1 Plannen: continu krachtenveld van kwaliteit, geld en tijd

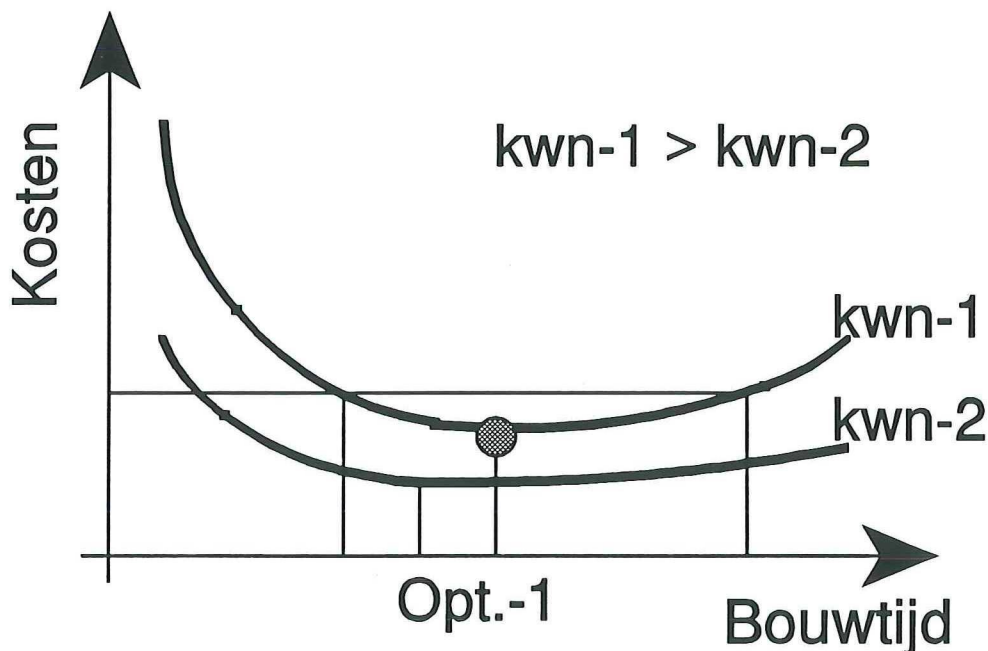
De nadruk ligt op het inzichtelijk maken en vervolgens beheersen van onder andere de aspecten tijd, kosten en kwaliteit. Deze grootheden moeten echter niet als onlosmakelijk worden beschouwd: een kortere bouwtijd zal de bouwkosten meestal negatief beïnvloeden en mogelijk een kwalitatief slechter resultaat opleveren. De kosten worden bepaald door de gewenste kwaliteit en bouwtijd van het project en de volgende in te zetten middelen: materialen, materieel (equipment) en menskracht. Een goed plan zal inzicht moeten verschaffen in deze *projectbeheersaspecten* en in de onderlinge relaties (zie figuur 2.1).

Vanuit oogpunt van de doelstelling van het project, zal aan elk van de te beheersen aspecten tijd, kosten of kwaliteit prioriteiten moeten worden gesteld. Vaak zijn er voor deze projectbeheersaspecten meerdere evenwichtspunten aan te geven die acceptabel zijn voor de opdrachtgever.

Op de luchthaven Schiphol wordt de grootheid kwaliteit voorop gesteld. Dit is logisch aangezien mindere kwaliteit van het gerealiseerde bouwwerk zal leiden tot eerder en meer onderhoud. Het voortijdig buiten gebruik raken van capaciteit, vanwege niet voorzien onderhoud, aan bijv. platform of startbaan, zal een aanslag vormen op de gewenste, beschikbare capaciteit van de luchthaven. Onderhoudskosten, inkomstendering en overlast tellen in deze overweging zeker ook mee. Gesimplificeerd kan worden gesteld dat de luchthaven Schiphol behoefte heeft aan kwalitatief goede constructies, die op het juiste tijdstip, zo snel mogelijk voor een zo laag mogelijk bedrag moeten worden gerealiseerd. Deze stelling is mede gebaseerd op gesprekken en ervaringen opgedaan binnen het Projecten Bureau Schiphol.

[PBS, Projectmatig werken]

[BE-Airside, Project ontwikkelingsplan Airside 1994-2004]



Figuur 2.2 Bij een gekozen kwaliteitsniveau (kwn) zijn bouwtijd en kosten afhankelijk

Figuur 2.2 geeft aan dat betere kwaliteit gepaard gaat met hogere bouwkosten voor het project. De opdrachtgever die hoge kwaliteitseisen stelt, zal rekening moeten houden met hogere kosten voor ontwikkeling en realisatie van het bouwwerk. De ligging van het kwaliteit-tijd-kosten-optimum zal veranderen als aan één van de beheersaspecten andere eisen worden gesteld. Zo zal de eis om de bouwtijd te verkorten, financiële investeringen met zich mee brengen om de voorbereidingen en de fase van uitvoering te versnellen. Bij twee verschillende uitvoeringstijden en hetzelfde geëiste kwaliteitsniveau is één dezelfde hoogte van de bouwsom mogelijk; het eerste is van toepassing als het project versneld wordt uitgevoerd en het tweede als het project uitloopt ten opzichte van de voorgenomen uitvoeringstijd (*zie figuur 2.2.*). Bij uitloop van de geplande uitvoeringsduur zijn de meerkosten voor de opdrachtgever voornamelijk te wijten aan inkomstendervingen.

Voor de aannemer houdt uitloop vaak stijging van de algemene bouwkosten in; in de vorm van meer loon, afschrijvingen, huur, rente en produktiekosten. In het ergste geval zal ook een boete voor te late oplevering aan de opdrachtgever moeten worden betaald.

Met behulp van plannen kan ook worden bereikt dat de verschillende partijen betrokken bij het project komen tot een taakstelling. Dit betreft zowel een taakstelling voor de voorbereiding als de uitvoering van de plannen.

Het belangrijkste gevolg opgelegd door plannen, wat eveneens vaak tot belangrijkste doel wordt verheven, is de dwang tot het vooruitdenken. Men wordt verplicht het toekomstige bouwproces te analyseren waarvoor weer diepgaande kennis van het bouwobject noodzakelijk is. Hieruit kan worden afgeleid dat plannen een cyclisch iteratief proces is.

Er moet voortdurend worden gestreefd naar het vinden van het juiste optimum behorend bij het project. Dit optimum betreft de afstemming van de middelen geld, tijd en personeel bij de voorbereiding en uitvoering van civiele werken. De diverse planningstechnieken kunnen als hulpmiddel hier goed te pas komen; er kunnen planningen worden gemaakt. Een *planning* is dan ook een "plaatje" dat de bereikte afstemming weergeeft. Toch ligt in de praktijk juist de moeilijkheid in het zorgen dat elk van de samenwerkende partijen zich juist "aan de planning houdt". Om tot een goed plan te komen zijn er tijdens het planningsproces vaak voortdurend kleine aanpassingen nodig. Plannen is daarom ook op te vatten als een dynamisch proces.

Met het ontwikkelde rekenmodel wordt getracht een goede startwaarde voor het plan-proces te vinden waardoor de convergentie naar het definitieve plan wordt verkort. De startwaarden moeten wel bijdragen aan de kwaliteit en de inzichtelijkheid van het plan. Hierdoor kan het mogelijk worden te besparen op tijd en kosten van zowel de voorbereiding als de uitvoering.

In het kader van dit onderzoek zal niet verder uitgeweid worden over de noodzaak van plannen maar wordt volstaan met het beschrijven van de principes van enkele veel toegepaste planningstechnieken. Verder wordt volstaan met de beschouwing van de voorbereiding voor de fase van uitvoering van een willekeurig *droog infrastructuur project*.

2.3 Aandachtspunten voor het maken van planningen

2.3.1 Algemeen

Er zijn diverse *planningstechnieken*. Door één projectbeheersaspect centraal te stellen kan een snelle, ruwe opdeling van planningstechnieken worden verkregen. Door bijvoorbeeld de uitvoeringsduur te willen beheersen, staat het aspect "tijd" centraal en is de ontwikkeling van de kosten van secundair belang geworden. Uiteraard blijft een gewogen optimum van de beheersaspecten voor het betreffende project van belang. Er zijn verschillende domeinen van waaruit gepland kan worden. Veel voorkomende soorten van plannen zijn de tijdsplanning, kostenplanning, kwaliteitsplanning, en daarvan kunnen worden afgeleid personeel-, materieel-, materiaal- en ruimteplanning.

De aspecten waar aandacht naar uit moet gaan voor het opstellen en verkrijgen van een goede planning zijn het in de tijd zichtbaar maken van het:

WAT ?	(moet worden uitgevoerd)
WAAROM ?	(welke noodzakelijkheden)
WANNEER en HOELANG ?	(tijd)
WAAR ?	(ruimte)
WIE ?	(alle betrokkenen bij het project)
WELKE en HOEVEEL HULPMIDDELEN ?	(andere resources)
HOE ?	(uitvoeringswijze)

2.3.2 De opzet van een planning

Er moet eerst een keuze worden gemaakt naar een geschikt type tijdsplanning afhankelijk van de omvang en aard van het toepassingsgebied.

De aanpak van de meeste planningstechnieken is in principe gelijk, de verschillen liggen in de uitwerking. De tijdsplanning van een proces kan als volgt opgedeeld worden:

- A Het proces opdelen in deelprocessen of bewerkingen die een min of meer afgerond geheel vormen.
- B Eventuele relaties van de deelprocessen onderling bepalen.
- C Tijdsduur, benodigd voor het doorlopen van dat deelproces, vaststellen.
- D Het tijdsschema ofwel tijdplanning (kortweg planning) opzetten.
- E Controle en eventuele aanpassingen maken.

Deze stappen zijn vrijwel op iedere "procesmatige" activiteit van toepassing: de tijdsplanning van een studie, een industrieel proces, een dagtaak, een constructieproces. Voor de bouw moeten de volgende beperkingen worden gemaakt:

A Het opdelen van het proces

Door een analyse van het bouwproces en het ordenen van de te verrichten taken kan men tot een onderscheid komen, van de bewerkingen, activiteiten en/of afgeronde procestaken. De procestaken moeten, wil men ze zinvol in een tijdschema kunnen opne-

men, van ongeveer hetzelfde abstractie-niveau zijn. Bijvoorbeeld "afstellen baanverlichting" is veel te gedetailleerd om met "maken startbaan" vergeleken te kunnen worden. De analyse van het bouwproces verloopt van grof naar fijn, de daarvan te maken schema's verlopen van algemeen globaal naar zeer gedetailleerd.

B De onderlinge relaties vaststellen

Het bepalen van "wat moet na wat" en "wat kan tegelijk gebeuren". Afhankelijkheid van deelprocessen kan om een aantal redenen optreden, zoals:

- * Beleidsredenen.
- * Technische afhankelijkheden.
- * Beperkte produktiemiddelen en productie-tijden.

*** Beleidsredenen**

Om beleidsredenen, zoals continuïteit, klantenbinding, flexibiliteit, windrichtingen, capaciteit, etc., kan door de opdrachtgever (de directie van de luchthaven) gekozen worden om een startbaan verkort (over kortere lengte) in gebruik te nemen/hebben voor vliegverkeer. Zo een soort beleidsbeslissing kan de organisatie en de uitvoering van het project in grote mate domineren. Door dit soort van beleidsbeslissingen gedurende het gevorderde voorbereidings- of uitvoeringsproces te veranderen zal ook de uitvoeringsplanning makkelijk worden verstoord.

*** Technische afhankelijkheden**

De technische onmogelijkheid om deelprocessen om te draaien of tegelijk te laten verlopen. Bijvoorbeeld bij het maken van een platform kan men de volgende afhankelijke deelprocessen onderscheiden: "grond ontgraven" - "kabels en leidingen aanbrengen"- "betere grond aanbrengen" - "verdichten" - "beton storten". Het is fysiek onmogelijk de volgorde te wijzigen.

Ook zaken als verhardingstijden, testprocedures, productiesnelheden en tijd-weg relaties behoren tot de technische afhankelijkheden.

*** Beperkte produktiemiddelen en productie-tijden**

Als twee verschillende baanonderdelen beide met behulp van dezelfde beschikbare asfaltset gemaakt moeten worden, dan kan dat alleen maar na elkaar gebeuren. Hetzelfde geldt voor de niet-machine-gebonden-arbeid: een ploeg kan maar op één plaats tegelijk worden ingezet, waardoor technische onafhankelijke deelprocessen of handelingen toch afhankelijk worden.

Ook kan het tijdelijk vrijgeven van een bepaald werkterrein in verband met veiligheidsvoorschriften leiden tot het plegen van afhankelijke handelingen. Zulke beperkingen gelden bijvoorbeeld bij gebruik van hoge machines in de buurt van startbanen; er is een bepaalde klaringsruimte voorgeschreven. Ook beperkte productie-tijden, bijvoorbeeld het uitvoeren van werkzaamheden gedurende de nacht, leiden tot het ontstaan van relaties.

C De tijdsduren bepalen

Van elk deelproces of bewerking moet de tijdsduur berekend of geschat worden in een geschikte tijdseenheid. In het verloop van deze studie zal voornamelijk aan het bepalen van tijdsduren aandacht worden besteed. De gekozen schaal van de tijdsduur hangt nauw samen met het abstractieniveau waarop gepland wordt. Bijvoorbeeld

zettingen in maanden, ontgraven in weken, verharden in dagen, etc. Gegevens over de tijdsduur van het bouwen van civiel technische (deel)objecten zijn afwisselend voorhanden of onbekend; al naar gelang al vaker een bepaald onderdeel gemaakt is zijn er meer data voorhanden om tot een schatting van de tijdsduur te komen.

Bronnen voor tijdsgegevens zijn de archieven met nacalculatie gegevens van eerder uitgevoerde werken. In de woning- en utiliteitsbouw zijn de richttijden van zeer veel uiteenlopende handelingen en bewerkingen in boekvorm of op computerschijf beschikbaar. Dit is het gevolg van het veelvuldig uitvoeren van - en de grote ervaring met- utiliteitsbouw werken gecombineerd met de goede registratie van de gegevens. Bij de vrij unieke werken in de GWW-sector laat het gemis aan dit soort van richttijden zich goed merken, zeker daar de variaties in materiaalverwerking groter zijn ten opzichte van projecten in de Utiliteitsbouw. Het verdient dan ook aanbeveling om de doorlooptijden van activiteiten tijdens de uitvoering van GWW-projecten beter te registreren.

Al deze doorlooptijden hebben tot doel de eerder bepaalde deelprocessen in relatie tot elkaar en in relatie tot een zekere tijdschaal visueel weer te geven en of te kunnen berekenen.

D Het tijds(planning)-schema opzetten

De belangrijkste methoden zijn *netwerkplanning (P.E.R.T., C.P.M., P.D.M.)*, tijd-relatie diagrammen, balkenschema's of Gantt charts, tijd-plaats overzichten, tijd-weg diagrammen en tijd-geld grafieken (cash-flows). Al deze technieken hebben tot doel de eerder bepaalde deelprocessen in relatie tot elkaar en in relatie tot een zekere tijdschaal visueel weer te geven en/of te berekenen.

Er wordt nu volstaan met slechts het opsommen van voornoemde planningstechnieken. Opgemerkt dient te worden dat de huidige ontwikkelingen op software gebied ons in staat stellen om eenvoudig, meerdimensionale planningen te vervaardigen. Hiermee wordt bedoeld dat de planning niet alleen meer een schema is van te verrichten activiteiten in het verloop van de tijd, maar dat ook mogelijkheden bestaan om de behoefte aan resources (middelen als menskracht, kapitaal, grondstoffen, etc.) gedurende een bepaalde tijdspanne van het project bij te houden. Aan de hand van deze uitkomsten kan er door het projectmanagement gekozen worden om te sturen in de condities en/of de planning van het project.

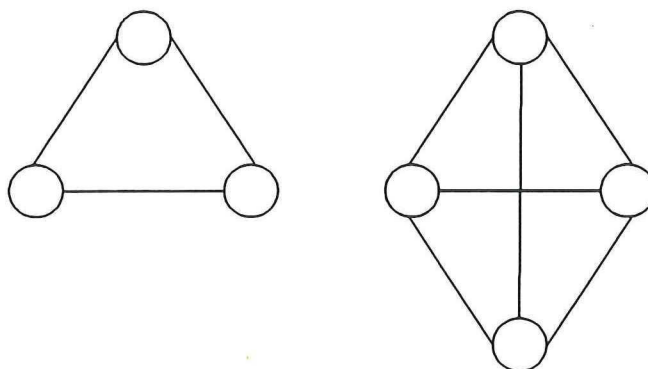
E Controle en aanpassing

Het planningsschema zal vrijwel nooit in één keer goed zijn. Bij het opzetten van dit schema moet er van worden uitgegaan dat het eerste schema slechts dient als het vinden van een goede startwaarde voor het cyclisch, iteratieve planingsproces. Het oorspronkelijk gemaakte plan dient slechts als referentie om opgetreden afwijkingen door verstoringen in het uitvoeringsproces meetbaar te maken. Voortdurend zal tijdens de voorbereiding van het project geprobeerd worden de kosten, kwaliteit en bouwtijd te optimaliseren, afstemmingsverliezen te minimaliseren en aanpassingen te maken n.a.v. meer nauwkeuriger analyses van het bouwproces. Tijdens de uitvoering zullen voornamelijk voortgangsmetingen en -rapportages worden gemaakt. Bij veranderende omstandigheden en eisen zullen vaak nieuwe planningen moeten worden opgesteld. In de gaten moet worden gehouden dat het meest recente tijdschema voor dat specifieke moment correct is maar dat dit schema onderhevig is aan interne en externe ontwikkelingen.

2.3.3 Het beheersen van de tijdsplanning

Om het kwaliteit-tijd-geld-optimum te benaderen kan de planning onder andere op de volgende manieren worden beheerst, te weten:

- * het opdelen/samenvoegen van het project in een beperkt aantal deelprojecten
- * het meer/minder paralleliseren van activiteiten
- * het (indien mogelijk) aanpassen van de volgorde van activiteiten
- * het vertragen/versnellen van activiteiten
- * het vergroten/verkleinen van de in te zetten capaciteit
- * het inlassen/laten vervallen van (bijsturende) activiteiten



Figuur 2.3 Hoe meer deelprojecten, hoe meer interrelaties

Opgemerkt dient te worden dat naarmate de uitvoering in meer deelprojecten wordt verknipt er meer interrelaties tussen activiteiten ontstaan en evenzo meer storingsgevoeligheid (*zie figuur 2.3*). Om het project en de planning te beheersen zal er steeds meer coördinatie vereist zijn. Toch kan de opdeling van een project in een beperkt aantal deelprojecten het overzicht, de kwaliteit en effectiviteit van de planning verbeteren.

[Wijnen, Renes, Storm, Projectmatig werken]

2.3.4 Het abstractie-niveau van de tijdsplanning

In het voorgaande is nauwelijks gesproken over de omvang van het bouwproces, het stadium van de voorbereiding, het beleidsniveau van planning en de keuze voor een planningstechniek. Zo zijn voor de tijdsplanning van bijvoorbeeld het Masterplan "De uitbreidingen van de luchthaven Schiphol" vele andere punten van belang dan de tijdsplanning van een specifiek onderdeel als een "belijning van een startbaan".

Bij het vervaardigen van een planning is een onderscheid te maken naar:

- | | |
|--|--|
| 1. tijdsduur | (abstractie-niveau) |
| 2. tijdstip | (fase waarin het project zich bevindt) |
| 3. specifiek onderdeel van het project | (constructie-deel) |
| 4. vakgebied | (civiel, elektrotechniek, financieel) |

Er wordt nu slechts ingegaan op punt 1. Voor punt 2, 3 en 4 wordt verwezen naar *[Smook, bb20 dictaat Organisatie van het bouwen]*.

1. Splitsing naar tijdsduur (abstractie-niveau)

De splitsing van de totale tijdsplanning in gedeelten van geringe duur gaat vaak samen met een grotere mate van detail.

- 1.1 **Het Masterplan** geeft een overzicht en de onderlinge relaties weer van alle projecten die gerealiseerd zullen worden. De projecten die aan het begin van de kalender zijn opgenomen hebben voorrang met betrekking tot uitvoering of voorbereiding. De tijdschaal is meestal jaren.
- 1.2 Het overall-schema of **hoofdschema** beslaat het totale project, het wordt in een vroeg stadium gemaakt wanneer (lang) nog niet alles bekend of uitgezocht is, en kan tijdsreserves bevatten. Het kan mede als basis dienen voor het maken van het tijd-geld diagram (Cash-Flow schema's). Herkenbaar worden de fasen van definitie, ontwerp, bestek, uitvoering en nazorg. De tijdschaal is meestal maanden.
- 1.3 **Deelschema's** beslaan gedeeltes van het project en zijn dus voor een bepaalde tijdspanne gedetailleerder dan het hoofdschema. In het deelschema kunnen reeds de inzetten van ploegen, de delen van het werkgebied en de cyclustijd verwerkt worden. De deelschema's bevatten reeds details. Ook de inzetten van o.a. onderaannemers zijn weer te geven. De tijdschaal is meestal weken.
- 1.4 De **detailschema's** worden over nog kortere periodes gemaakt (1/2 - 2 maanden). Bij voorkeur overlappend. Deze schema's zijn direct voor het werk bestemd en worden gebruikt voor afgeleide schema's zoals personeelsschema, werkregulings-, kraanplannings-, materiaalafroepschema e.d. De tijdschaal is meestal dagen. De aannemer maakt vaak gebruik van plannings voor de dagproductie.

Uiteraard dienen gedetailleerdere schema's (planningen) qua tijdsomvang steeds binnen de schema's van een hoger abstractieniveau te passen. Het verdient aanbeveling om de planning van bouwprojecten te laten geschieden van grof naar fijn; dit houdt in dat plannen van een hoger abstractieniveau steeds gedetailleerder uitgewerkt worden in plannen van een lager abstractieniveau. Uiteraard heeft de planner te maken met een continue wisselwerking tussen plannen van een hoger en een lager abstractieniveau.

2.4 Intermezzo : Het project FICTION

Het project FICTION is een fictief project dat zich afspeelt op de luchthaven GATEWAY in Engeland. Er is door de luchthaven-directie een sterke groei in het aantal te verwerken passagiers, tonnen goederen-overslag en hoogte van het aantal vliegtuigbewegingen geconstateerd. Verwacht wordt dat deze ingezette groei zich de komende jaren zal doorzetten. Gekozen is om de capaciteit van de bestaande luchthaven te vergroten door middel van enkele nieuwbouw projecten en het renoveren van bestaande constructies. Om dit alles in goede banen te leiden is een speciaal projecten-bureau in het leven geroepen dat de projecten moet voorbereiden en coördineren. Hiertoe is het management-consultant bureau Quality Consultants (QC) aangetrokken dat het projectmanagement voor de luchthaven uitvoert en onder meer de plannings voor de

projecten verzorgt. De aannemer GROUNDWORKS is met de uitvoering van het project FICTION belast. In *bijlage 1* is een gedetailleerdere omschrijving van het project opgenomen.

Één van de uitbreidingen van de luchthaven GATEWAY betreft het project FICTION; het renoveren van de belangrijke startbaan "North-South" en het herprofilen van de aangelegde rijbaan. Gezien de naderende zomer, waarin de luchthaven GATEWAY gemiddeld 70% van haar jaarinkomen genereert, wordt door de directie van de luchthaven ernaar gestreefd om per 1 juli over de technisch gereed zijnde, gerenoveerde startbaan te kunnen beschikken. Aangezien de luchthaven-directie de startbaan tot direct produktiemiddel van de luchthaven rekent eist zij dat deze niet te lang buiten gebruik mag zijn. Daarom verwierp zij de eerste raming van de uitvoeringsduur die 6 maanden bedroeg. De duur van deze bouwtijd werd uit oogpunt van inkomstenderving en capaciteits-tekort te lang bevonden. Als reactie hierop werd voorgesteld om de tijdsduur van de uitvoeringsplanning te verkorten tot 7 weken (50 dagen).

Als reactie hierop werd door de planner van QC voor meerdere activiteiten de inzet aan mensen en machines verhoogd waardoor in principe de eerst vervaardigde uitvoeringsplanning gecomprimeerd werd. Hierdoor worden sommige activiteiten nu ook overlappend uitgevoerd (*zie figuur 2.4*).

Tegelijkertijd beseft de planner van QC, die overigens beschikt over ruime ervaring m.b.t. het opstellen van plannings voor soortgelijke infrastructurele werken, dat bij dit type projecten er zich altijd normale onzekerheid voordoet betreffende de uitvoeringsduur van het project. Dit uit zich vaak in het uitlopen van de geplande uitvoeringsduur als gevolg van fluctuaties in zowel de te verwerken grondstoffen als in de prestaties van arbeiders en ingezette machines. Los hiervan heeft hij de ervaring dat er wel degelijk bijzondere, -maar vaak wel bekende-, gebeurtenissen zich tijdens de uitvoering kunnen voordoen die niet in de tijdsplanning waren opgenomen. Als verantwoordelijke twijfelt hij aan de betrouwbaarheid van de huidige planning en vraagt zich af of de gestelde opleverdatum überhaupt gehaald wordt, welke marges in uitloop zijn te verwachten en welke effectieve maatregelen er nodig zijn om de betrouwbaarheid van de opgezette planning te waarborgen met in acht neming van de bovengenoemde onzekerheden.

Ook de aannemer GROUNDWORKS beseft dat bij te late oplevering jegens zijn schuld hem een hoge dagboete boven het hoofd komt te hangen. Uit zijn eigen ervaring blijkt dat de aangenomen hoeveelheden te verwerken grondstoffen en productiesnelheden door tal van oorzaken spreidingen vertonen. Er bestaat daarom ook bij deze directie een grote behoefte aan inzicht in welke activiteiten spreidingen vertonen (ook van belang voor de hoogte van de inzet aan menskracht en machines en de financiële afrekening van de gemaakte kosten). Tevens is deze directie geïnteresseerd welke maatregelen effectief maar bovenal (financieel) zinvol zijn om ervoor te zorgen dat het werk binnen de gestelde termijn wordt afgerond. Verder vraagt de aannemer zich af welke bijzondere gebeurtenissen onder zijn verantwoordelijk vallen en van welke onzekerheden hij de verantwoordelijkheid kan afschuiven op de opdrachtgever of derden.

De opdrachtgever, in dit geval de directie van de luchthaven, is gezien het grote belang van de startbaan bereid gepaste investeringen te plegen om er zorg voor te dragen dat de oplevering daadwerkelijk voor 1 juli kan plaatsvinden. Ook heeft de luchthaven-directie behoefte aan inzicht of een bepaalde investering ook het gewenste

tijd-effect sorteert. Daar de directie haar operationele capaciteit (baanbeschikbaarheid) moet plannen is een voorspelling van de uitvoeringsduur van het project FICTION met hoge betrouwbaarheid gewenst.

2.5 De tijdsplanning als rekenmodel

Algemeen kan een planning worden opgevat als een rekenmodel dat het relevante projectbeheersaspect raamt. In een tijdsplanningsschema zullen de tijdsduren van de activiteiten en hun onderlinge relaties de totale tijdsduur van het project bepalen. Er zijn verschillende manieren waarop activiteiten cq. bewerkingen samenhangen.

Het eenvoudigste geval doet zich voor als alle activiteiten slechts één relatie hebben met hun opvolgende activiteit en dit type relatie een kop-staart relatie is. De kop-staart relatie houdt in dat activiteit A_{i+1} pas kan starten als activiteit A_i is afgerond. De uitvoeringsduur van het project kan worden berekend als $\sum A_i$; de som van de activiteitsduren A_i met $i = 1 \dots n$ (n is het aantal activiteiten).

De complexiteit neemt toe als het project bestaat uit meerdere deelprojecten die parallel worden uitgevoerd. De activiteiten kunnen ook andere onderlinge relaties vertonen zoals bijvoorbeeld overlappen in tijd, start-start, eind-eind relaties, etc. Afhankelijk van de gekozen planningstechniek (netwerktechnieken waaronder technieken als activity on the arrow en activity on the node, balkenschema's etc.) zijn er steeds andere termen van toepassing als de verschillende floats, vroegste en laatste begin- en einddata, aanduiding van de relaties, etc. De geïnteresseerde lezer wordt verwezen naar de verschillende planningspakketten als Time-Line, ASP, Power Project, Super Project, MS Project, etc. en verder naar

[Altvorst van, Handboek voor de Netwerkplanner]

[Bennett, Critical Path Precedence Networks]

[O'Brien, CPM in Construction Management]

[Harris, Precedence and Arrow Networking Techniques]

Als voorbeeld wordt het sterk vereenvoudigde uitvoeringsschema van het project FICTION behandeld dat hiernaast is afgebeeld (*zie figuur 2.4*). Voor meer informatie wordt verwezen naar de bijlage 1 waar een ruimere omschrijving van deze planning is opgenomen. De door de projectleiding voorgestelde, gewenste uitvoering van het project wordt in het versimpelde balkenschema weergegeven en bestaat uit de twee deelprojecten "Renovatie startbaan" en "Rijbaan-verbetering". De balken stellen de verwachte tijdsduren van de activiteiten voor en de pijlen de relatie tussen de activiteiten. Bij de activiteiten die een kop-staart relatie hebben is de pijl weggelaten.

In het planningsschema zijn er tien activiteiten te onderscheiden en vier paden waarlangs het project zich kan voltrekken. De duur van de paden wordt bepaald door de duren van de activiteiten A_1 t/m A_{10} en wordt als volgt berekend, te weten:

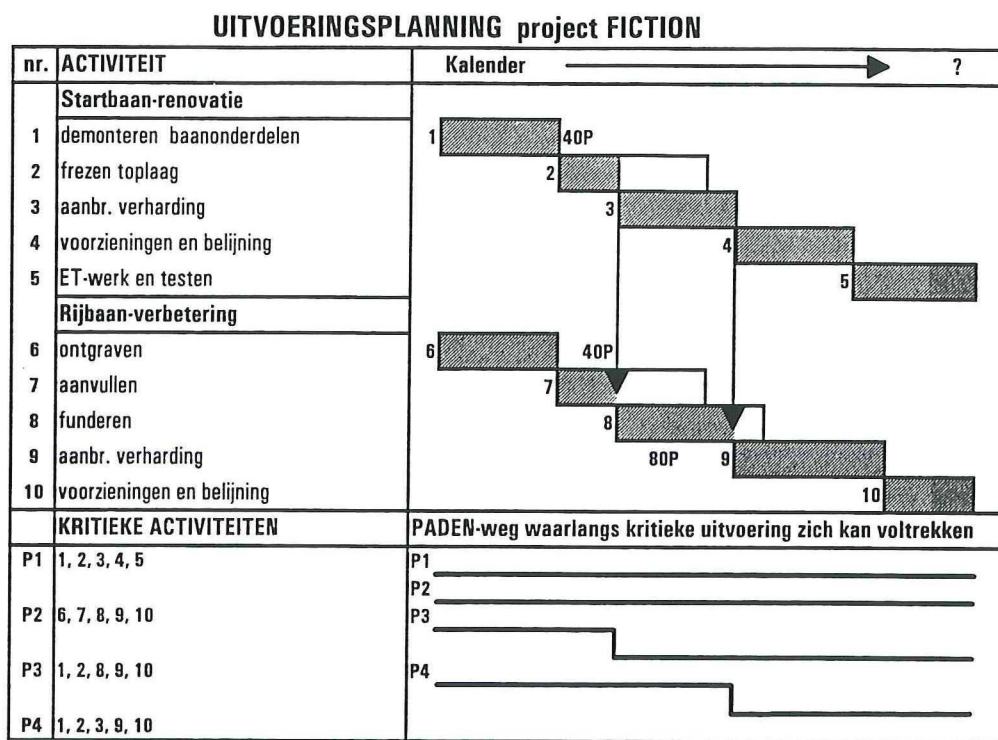
$$P1 = A1 + 40\% * A2 + \quad A3 + A4 + A5 \quad (2.1)$$

$$P2 = A6 + 40\% * A7 + 80\% * A8 + A9 + A10 \quad (2.2)$$

$$P3 = A1 + 40\% * A2 + 80\% * A8 + A9 + A10 \quad (2.3)$$

$$P4 = A1 + 40\% * A2 + \quad A3 + A9 + A10 \quad (2.4)$$

Een percentage vóór de activiteitsduur A_i houdt in dat de volgende activiteit A_{i+j+1} (j staat voor een ander deelproject) pas kan starten als dat deel van activiteit A_i af is, dat door dat betreffende percentage wordt voorgesteld. Bijvoorbeeld; er kan pas dan met het funderen van de rijbaan worden begonnen als het frezen van de top laag van de startbaan en het aanvullen van het cunet eerst voor 40 procent gevorderd zijn (dit zijn voorwaarden die afhankelijk zijn van de produktiesnelheid of de ruimte benodigd om een bewerking te kunnen uitvoeren). Ook kunnen er andere technische relaties van belang zijn waardoor deterministische tijdsduren in de tijdsduur van het pad P_j moeten worden opgeteld. Bijvoorbeeld; bij het storten van beton voor een platform zal het beton na 28 dagen "totaal verhard" zijn. Vaak kan het beton reeds na 5 dagen betreden worden voor het uitvoeren van andere werkzaamheden zoals het aanbrengen van belijningen, voorzieningen, etc. De duur van 5 dagen is in deze dat deel van de activiteit "Beton Storten" dat als belemmerend voor de voortgang van de uitvoering wordt ondervonden. De planning als "mathematisch rekenmodel" houdt expliciet rekening met dit soort afhankelijkheden.



Figuur 2.4 De planning als rekenmodel

Het langste pad van de paden P1, P2, P3 en P4 wordt ook wel gekarakteriseerd met de term "Kritieke Pad".

$$\text{Duur kritieke pad} = \max[P1, P2, P3, P4] \tag{2.5}$$

Dit pad bepaalt de minimaal benodigde tijdsduur voor voltooiing van de fase van uitvoering. In één planning kunnen meerdere paden kritiek zijn en is het tot nu toe moeilijk vooraf te bepalen welk pad in de loop der tijd daadwerkelijk maatgevend zal zijn: "sub-kritieke paden" kunnen door veranderde omstandigheden "kritiek" worden.

Op te merken valt dat voor de activiteiten gelegen op het kritieke pad geen tijdspeling bestaat voor verlate start of uitgelopen duur zonder consequenties in tijd en geld teweeg te brengen.

Door verlate startdata, verlengde uren en gewijzigde relaties wil het kritieke pad tijdens de uitvoering nog weleens wijzigen. Deze afwijkingen zullen, indien deze na optreden niet worden gecompenseerd, verlate oplevering van het project teweeg brengen.

Iedere tijdsplanning van een project wordt op deze manier getypeerd door een, vaak uniek, *mathematisch rekenmodel*; een soort van rekenrecept dat op papier vrij beheersbaar is (zie figuur 2.4 en (2.1) t/m (2.5)). Het mathematisch rekenmodel ontstaat bij tijdsplanning doordat de mogelijkheid bestaat om bewerkingen cq. activiteiten in meer of mindere mate geparalleliseerd uit te voeren.

2.6 De actuele manier van plannen

In de hedendaagse praktijk gaat men bij het plannen van de uitvoering vaak nog uit van een onverstoord bouwproces. Dit lijkt vrij logisch omdat zowel de opdrachtgever evenals de planner dit bouw-verloop beogen. Het is daarom tot nu toe in de huidige uitvoeringsplanningen (nog) niet gebruikelijk een tijdsreservering voor onvoorziene uitlopen op te nemen. Het is onder andere hierom dat afgesproken en werkelijke opleverdatums van projecten zelden exact overeenkomen. Het vaststellen van een acceptabele marge is in de meeste gevallen nog niet eens (goed) afgesproken. Vaak kan wel een vage mate van uitloop, of juist van betrouwbaarheid van de planning, worden aangegeven die vooral op gevoel en ervaring is gebaseerd.

Bij het plannen gaat men uit van gegevens en ervaringen opgedaan met vorige projecten. Dit is een goede methode als maar expliciet rekening wordt gehouden met de specifieke kenmerken van het actuele project. Meestal wordt er op basis van kengetallen een raming gemaakt. *[Smook, bb20 dictaat Organisatie van het bouwen].*

Voor de definitie- en ontwerpfase is dit geen enkel bezwaar.

Er wordt van uitgegaan dat de gegevensstroom na de oriëntatie-fasen van het project op gang komt en dat informatie, waaronder de doorlooptijden van activiteiten, steeds specifiekere wordt waardoor mogelijke toleranties steeds kleiner zullen worden.

De uitvoeringsplanningen worden opgebouwd vanuit de te verrichten activiteiten. Voor de activiteiten wordt een deterministische tijdsduur gekozen waarvan wordt gedacht dat deze een goede inschatting vormt voor de duur van die activiteit. Ruimte voor meerdere mogelijke uitkomsten is er niet. Dit is een beperking aangezien de duur van de activiteit afhankelijk is van diverse factoren als de hoeveelheid te verwerken materiaal en produktiesnelheid. Wel kan er worden aangegeven tussen welke tijdsgrenzen de activiteit minimaal/maximaal moet starten/eindigen.

Tijdens de uitvoering zullen bij diverse activiteiten afwijkingen optreden in de aangenomen start- en/of einddatum en doorlooptijd. Als deze afwijkingen elkaar niet compenseren zal de afgesproken opleverdatum niet gehaald worden. Afwijkingen ten opzichte van de aangenomen doorlooptijden worden vooral veroorzaakt door fluctuaties in de enorme hoeveelheden te verwerken materiaal, tegenvallende produkties en

weersafhankelijke invloeden. Dit zijn invloeden die zich bij ieder GWW-werk van enige omvang voordoen en daarom met de term normale onzekerheden worden aangeduid. Deze onzekerheden worden zowel door de planner als door de aannemer tijdens het voorbereidingsproces waargenomen en vervolgens voorgelegd aan de opdrachtgever.

De opdrachtgever zal vaak wegens 'redelijkheid en billijkheid' jegens de verschillende werkvoorbereiders deze onzekerheden (random fluctuaties in hoeveelheden, prijzen en produkties) zowel in de tijdsplanning als in de kostenraming moeten onderkennen.

Het is tot nu toe niet gebruikelijk om met andere typen onzekerheid, zoals calamiteiten, diefstallen, sabotage, etc. expliciet rekening te houden in de uitvoeringsplanning. Toch kunnen deze *bijzondere en andere onvoorziene gebeurtenissen* optreden. De projectdeelnemers zullen in goed overleg moeten bepalen wie verantwoordelijk is voor de gevolgen van een dergelijk, mogelijk optredende ongewenste gebeurtenis. Als het gevaar van optreden dusdanig groot is wordt soms besloten toch een reservering in tijd en geld te maken. In sommige gevallen gaat men ook wel over tot het "worst-case-scenario"; men maakt een voorstelling van de situatie waarbij van alles misgaat en stelt vervolgens de tegenmaatregelen op "die in het geval dat....." getroffen moeten worden of in iedere geval paraat horen te zijn.

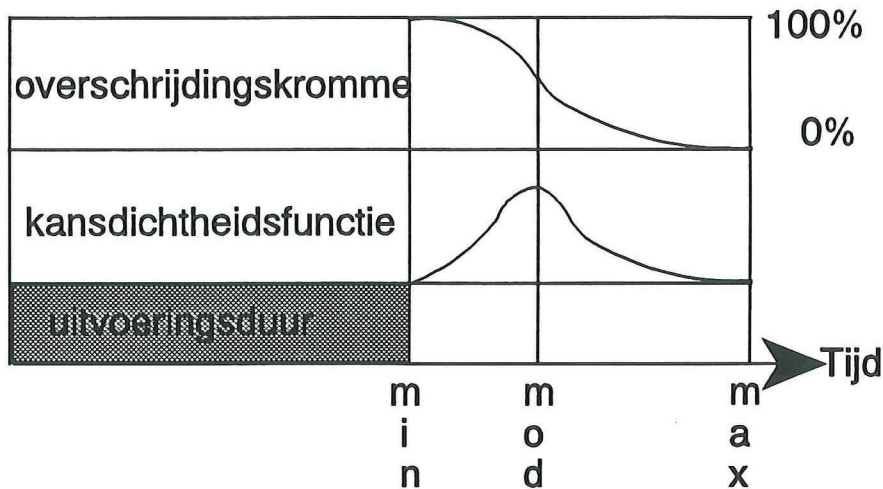
Meestal treden er bij een willekeurig project van enig formaat, "volgens deskundigen", gemiddeld minimaal 2 onverwachte gebeurtenissen op.

[Vrijling, Spelen met kansen]

Ook moet men bedacht zijn op gebeurtenissen die een grote kans van voorkomen hebben maar met kleinere gevolgen in tijd en geld. Te denken valt aan een bepaalde machine die vaak uitvalt en vervolgens gerepareerd en/of onderhouden moet worden. Dit soort gebeurtenissen veroorzaken niet alleen een opeenstapeling van kleine vertragingen maar vormen op den duur ook een post van hoge kosten.

Op de huidige manier van plannen wordt de uitvoeringsduur meestal gevat met één deterministische tijdsduur (de voorgestelde opleverdatum). In de beste gevallen kan nog een verwacht minimum en maximum voor de uitvoeringsduur worden aangegeven. De mogelijkheid een gefundeerde uitspraak te doen over de minimale, maximale en meest waarschijnlijke bouwtijd ontbreekt evenals de mogelijkheid de kans aan te geven dat de uitvoering een waarde aanneemt binnen het vastgestelde interval minimale-maximale bouwtijd.

Het probleem van de huidige manier van plannen is dat men vaak op een gevoelsmatige manier doorlooptijden kiest waaraan geen goede onderbouwing ligt. Met "goede onderbouwing" wordt bedoeld dat er tijdens het plannen expliciet rekening gehouden wordt met de fluctuaties in hoeveelheden en produkties. Hetzelfde geldt voor het mogelijk optreden van ongewenste bijzondere gebeurtenissen. Door het uitschieten van een (kritieke) activiteit zullen andere activiteiten ook verlaat beginnen dan wel uitlopen wat tot gevolg heeft dat andere paden kritiek worden dan was aangenomen. Gevolg is dat het werkelijke kritieke pad tijdens uitvoering niet altijd overeenkomt met het geplande kritieke pad. Met andere woorden: tot nu toe met weet men niet zeker, hoe groot de kans is dat het aangenomen kritieke pad in de praktijk ook daadwerkelijk kritiek zal zijn en daarmee welke tijdsduur de werkelijke bouwtijd zal beslaan. Ook is de mate waarin een, eventueel uitgelopen, activiteit de geplande opleverdatum verstoort absoluut en in verhouding tot andere activiteiten vaak niet bekend.



Figuur 2.5 Probabilistische benadering van de uitvoeringsduur

Door eerder genoemde voorkomende onzekerheden blijkt het tot nu toe niet mogelijk de uitvoeringsduur van een project exact te ramen. Deze onzekerheden pleiten voor een *probabilistische benadering* van de uitvoeringsduur. Bij een probabilistische benadering wordt de uitkomst van een raming niet alleen meer gekarakteriseerd door een vaste waarde van de uitvoeringsduur maar met een kans van optreden. Door voor verschillende uitkomstwaarden de kans van voorkomen te berekenen kan een *overschrijdingskromme* worden samengesteld (zie figuur 2.5). Met behulp van deze overschrijdingskromme kan worden aangegeven hoe groot de kans is dat een bepaalde uitvoeringsduur wordt over- of onderschreden (lees uitloopt of wordt verkort).

Een probabilistische benadering van de uitvoeringsduur houdt echter ook in dat er anders moet worden gedacht: Een afwijking tussen de werkelijke uitvoeringsduur en de begrote uitvoeringsduur betekent niet automatisch dat er een fout is gemaakt bij de calculatie maar eerder dat de afwijking het gevolg is van de invloed van (juist wel of juist niet) opgetreden onzekerheden. Door te werken met overschrijdingskrommen wordt het besef dat de uitvoeringsduur afhankelijk is van diverse invloedsparameters nogmaals gestimuleerd. De vraag van het projectmanagement: "hoe reëel is de opgestelde planning?" kan hiermee verschuiven naar "welke mate van uitloop gekoppeld aan welke kans van overschrijding is aanvaardbaar voor dit project?".

2.7 Conclusies

Uit de bestudeerde literatuur, eigen ervaringen en waarnemingen uit de praktijk blijkt dat er een grote verscheidenheid bestaat aan planningstechnieken, programmatuur en ontwikkelingen op software-gebied, die allen tot doel hebben het willen beheersen van de aspecten kwaliteit, tijd, geld, organisatie en informatie van projecten. Verder blijkt dat het plannen van bouwkundige werken veel verder uitgekristalliseerd is, in bijvoorbeeld produktienormen op macro- en microniveau, dan het plannen van projecten in de GWW-sector.

Het plannen van civiele werken in de GWW-sector blijkt in de praktijk lang niet altijd aan de eisen van acceptabele betrouwbaarheid te voldoen. Verschillende onzekerheden in het gehele bouwproces bemoeilijken het produceren van een gedegen planning die de voorgestelde bouwtijd niet teveel onder- of overschrijdt. Deze onzekerheden, variërend van het verwerven van vergunningen tot technische problemen tijdens de uitvoering, veroorzaken vertragingen en daarmee verlate oplevering van het project.

Afwijkingen ten opzichte van de geplande uitvoeringsduur worden veroorzaakt door normale onzekerheden voortkomend uit fluctuaties in de enorme hoeveelheden te verwerken materiaal, tegenvallende produkties en weersafhankelijke invloeden. Bovendien kunnen er nog tal van bijzondere gebeurtenissen optreden die niet waren voorzien in de planning. Deze bijzondere gebeurtenissen zijn van vrij verschillende afkomst en meestal afhankelijk van de bewerking die wordt uitgevoerd.

Het plannen van de uitvoeringsduur van GWW-werken kan worden verbeterd.

Dit is te bereiken door:

- * het ontwikkelen van een kwantitatieve rekenmethodiek; een controlemiddel dat wel expliciet rekening houdt met de fluctuaties in materiaal-hoeveelheden, produkties, inzetten en bijzondere gebeurtenissen. Van deze variabelen zullen de statistische kenmerken waaronder kansverdelingen, gemiddelden en variaties, per activiteit moeten worden opgesteld en/of geïnventariseerd. Zo kan het gebruik en nut van de gebruikelijke planningsmiddelen worden geoptimaliseerd waardoor de planningsprocedure kwalitatief verbetert en tegelijkertijd versnelt.
- * de mogelijkheid te creëren om die activiteiten te traceren die het meest bijdragen aan verlate oplevering en daarmee aan het totale project-risico.
- * het opstellen, inventariseren en bijhouden van kengetallen voor een inschatting van doorlooptijden van activiteiten en bouw tijden van GWW-projecten op tactisch en uitvoeringsniveau.

Het vervaardigen van een planning (het tijd-werkschema) gebeurt bij gebruik van het controlemiddel uiteraard nog steeds met een planningspakket. Het grote voordeel van het gebruik van een controlemiddel is dat aan de opgestelde planning een betrouwbare onderbouwing ligt, die expliciet rekening houdt met diverse onzekerheden. Zodoende wordt de betrouwbaarheid en daarmee de kwaliteit van de tijds-planning gewaarborgd.

3 Risico-analyse

3.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt een kort overzicht van de wetenschap risico-analyse gegeven. De rapportage is in gecomprimeerde vorm uitgevoerd om het zwaartepunt van de studie niet te verleggen. De herkomst, technieken, opbouw en resultaten van risico-analyse zullen worden beschreven. Er wordt met dit beknopte verslag niet gepretendeerd een compleet beeld te schetsen.

Voor de duidelijkheid wordt er nogmaals op gewezen dat in deze studie de definitie van risico uit meerdere componenten bestaat, te weten:

De definitie van een ongewenste gebeurtenis

- | | | |
|---|--------------------------|---|
| * | de risico-bronnen | factoren die de onzekerheid veroorzaken |
| * | de kans | onzekerheid over het optreden van het gevaar |
| * | het gevolg | onzekerheid over de schadelijke uitwerking op het project |

[Vermande, Risico-management en risico-analyse bij IR-bureau NS]

[Vrijling en Vrouwenfelder, b3 dictaat Probabilistisch ontwerpen]

Risico's uiteten zich voornamelijk in de te beheersen *projectaspecten tijd, geld en kwaliteit*.

3.2 Inleiding

3.2.1 Herkomst van de wetenschap risico-analyse

Risico-analyse is voor het eerst gebruikt in de kernenergie-, chemische proces en lucht- en ruimtevaartindustrie. In zulke industrieën kan het falen van systemen grote gevolgen hebben. Voorbeelden zijn de ongelukken op Three Mile Island (kerncentrale), Canvey Island- en Seveso (chemische fabrieken). Ook de ongelukken met de spaceshuttle Challenger en de veerboot Estonia lenen zich uitstekend voor analyse met de wetenschap risico-analyse.

Niet alleen bij deze industrieën kan het falen van een systeem rampzalige gevolgen hebben. De overstroming in Zeeland in 1953 bijvoorbeeld kan gezien worden als het falen van het systeem van dijken. Betrouwbaarheid is niet iets dat gerealiseerd kan worden door alleen maar "good engineering practices". Het is niet mogelijk om een systeem zo te ontwerpen dat falen onmogelijk is. Het beste dat gedaan kan worden is de kans op een bepaalde catastrofale gebeurtenis zo klein mogelijk maken.

De wetgever heeft ook erkend dat de bevolking en het milieu moeten worden beschermd door probabilistische eisen te stellen. In Nederland worden er bijvoorbeeld probabilistische eisen gesteld aan het "functioneren" van dijken (Delta wet: een overstroming mag, afhankelijk van het gebied, hoogstens eens per 10.000 jaar optre-

den). Het Nederlandse ministerie van VROM eist nu van ongeveer 70 bedrijven dat een "Externe Veiligheids Rapportage" (EVR) gemaakt moet worden. Hierin wordt onder meer de kans op verschillende ongelukken berekend. Voor nieuwe fabrieken wordt geëist dat de kans dat iemand buiten de terreinen dood gaat als gevolg van een ongeluk met de fabriek kleiner is dan 10^{-6} per jaar. Bij deze analyses wordt er een onderscheid naar een groeps- en individueel risico gemaakt.

Betrouwbaarheidstheorie en risico-analyse hebben ook veel toepassingen op kleinere schaal. Hierbij moet worden onthouden dat de betrouwbaarheid van complexe systemen en situaties meestal afhankelijk is van vele kleine componenten.

[Groeneboom, Data-analyse en statistische modelvorming]

Om een goede betrouwbaarheidsanalyse op het juiste abstractie-niveau te kunnen uitvoeren kan er een onderscheid worden gemaakt naar twee duidelijk verschillende analyse technieken, te weten:

- * de structural reliability (betrouwbaarheid van elementen)
- * de systems reliability (betrouwbaarheid van systemen)

* **Structural reliability**

Structural reliability heeft betrekking op de faalkans van elementen, componenten, activiteiten of in ieder geval de kleinste deeltjes van een systeem. Deze analyse-technieken zijn sterk kwantitatief gericht. Ter illustratie kan aan de levensduurverdeling van gloeilampen en andere elektronische elementen worden gedacht. Er kan van een gemiddelde levensduur van het element worden uitgegaan waarbij een spreiding rond dit gemiddelde waarneembaar is. Toepassing vindt vooral plaats daar waar er routinematige handelingen worden verricht, veel dezelfde type elementen (onderdelen) worden gebruikt en er sprake is van frequente processen als uur- en dagproducties.

* **Systems reliability**

Systems reliability wordt op die systemen toegepast die men opgebouwd kan denken uit componenten waarvan de eigenschappen bekend zijn. Bij systems reliability, bezien als het totaal van de verschillende onderdelen (de bekende probabilistische sommen), staat de besluitvorming rond veiligheid en bedrijfszekerheid centraal. Onder bedrijfszekerheid wordt hier verstaan: het vermogen van een technische installatie, om onder de gecombineerde aspecten van de betrouwbaarheid, onderhoudbaarheid en logistiek, zijn gespecificeerde productie gedurende een vastgestelde periode te halen.

Resumerend kan gesteld worden dat betrouwbaarheidsanalyse bijdraagt aan:

- * het vergelijken van verschillende (systeem)ontwerpen (lees plannings)
- * het onthullen van zowel de sterke als de zwakke schakels in het ontwerp, de planning of bedrijfsvoering.
- * het opstellen van veilige, technisch en economisch verantwoorde ontwerpen, plannings en bedrijfsvoeringen (vaak het ultieme doel!).
- * het vaststellen van een optimaal reserve pakket van voorzieningen als verzekeringen, ingrijpende maatregelen, onderdelen, etc.
- * het bepalen van stop- en afbreukmomenten nodig voor evaluaties, onderhoud, overleg en inventarisatie betreffende het project.

Het sleutelwoord waar het in risico-analyse om draait is betrouwbaarheid (engels: reliability). Betrouwbaarheid is een kerngrootheid bij het succesvol bedrijven van technische installaties en processen. Immers, een installatie wordt betrouwbaar genoemd als hij voortdurend zonder storingen in bedrijf is (beschikbaar is) en de gewenste output levert. Indien het proces of de installatie nooit faalt is de betrouwbaarheid 100%. De ervaring leert echter dat technische installaties en processen wel degelijk kunnen falen. Ook de klant onderkent dit en is vaak bereid gedeeltelijke betrouwbaarheid te accepteren mits de kans op falen aanvaardbaar klein is en de tijd benodigd voor herstel kort is. Eens te meer blijkt dat kans en gevolg onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn.

Onder betrouwbaarheid wordt verstaan een karakteristieke eigenschap van een technisch object, uitgedrukt als de kans dat het zijn gespecificeerde functie op de gewenste manier zal uitvoeren, onder alle relevante omstandigheden en op de momenten of gedurende het tijdsinterval dat dit wordt verlangd.

[Kivi, Toegepaste risico-analyse, waar determinisme te kort schiet]

Betrouwbaarheid is een term die voornamelijk bij veiligheidsstudies wordt gehanteerd terwijl de term beschikbaarheid meer past bij het kunnen beschikken over een installatie.

Deze betrouwbaarheid kan worden geanalyseerd maar dat kan pas als er eerst een betrouwbaarheidstheorie is opgesteld. Het doel van de betrouwbaarheidstheorie is uitspraken te doen over de betrouwbaarheid van de onderdelen. Hiermee kunnen dan op verschillende niveaus modellen worden gemaakt. Er kan een kans-theoretisch model van elke component (activiteit) worden gemaakt afhankelijk van de te onderzoeken karaktertrek. Een model van hoe de verschillende onderdelen bijdragen aan het functioneren van het systeem wordt hiermee opgebouwd. Hiermee kan dan een voorspelling worden gemaakt over de eventuele levensduur van het systeem. In de ontwerpfase van een systeem (cq. project) kan een ontwerper (cq. planner) zulke modellen ook gebruiken om het systeem (cq. ontwerp of planning) te verbeteren.

3.2.2 Wat is risico-analyse?

Hoewel er meerdere benaderingen zijn van risico-analyse is in deze studie gekozen voor de onderstaande omschrijving.

Onder risico-analyse wordt verstaan een aantal technieken, methodieken of hulpmiddelen die gebruikt kunnen worden bij het identificeren, inschatten en/of evalueren van onzekerheden en risico's, in al of niet kwantitatieve vorm.

[Vermande, Risico-management en risico-analyse bij IR-bureau NS]

3.2.3 Wanneer kan risico-analyse worden toegepast?

Risico-analyses kunnen worden toegepast daar waar het structureren van het proces van besluitvorming kan worden bevorderd. Dit wordt bereikt doordat het mogelijk wordt om van meerdere alternatieven de waarde te bepalen.

Het toepassen van risico-analyse kan ook worden ingegeven door het willen toepassen van nieuwe technieken, uitzonderlijke verzekering- en contractvoorwaarden, bindende regelgeving m.b.t. het verstrekken van vergunningen, belangrijke thema's als milieu en veiligheid, ongekende risico's of grote kapitaalinvesteringen.

3.2.4 Wat kan er bereikt worden met risico-analyse?

Met behulp van risico-analyse is het mogelijk om :

- * **Risico-beleid**
op te zetten en uit te voeren. Dit houdt in dat m.b.v. bepaalde kwantitatieve en kwalitatieve technieken, problemen kunnen worden opgelost doordat men beter inzicht krijgt in risico's, effecten en interacties.
- * **Project-planning**
gefundeerd uit te voeren. Er kunnen namelijk betere planningen, met inbegrip van onzekere gebeurtenissen en gevolgen, worden gemaakt waarbij ook in de mogelijkheid tot het treffen van adequate tegenmaatregelen is voorzien. Om bepaalde risico's te vermijden of te neutraliseren kan er een terugkoppeling gemaakt worden naar zowel de voorbereidings-, de uitvoerings- en beheersfase van het project.
- * **Gevoeligheidsanalyse**
uit te voeren voor een totaal project, geplaatst in zijn omgeving (ruimtelijk, financieel, technisch etc.)
- * **Ordering van risico's**
aan te brengen in de belangrijkheid van risico's. Hierdoor kunnen de onderzoeksprioriteiten en het zwaartepunt van de kwaliteitszorg worden aangegeven.
- * **Verantwoordelijkheid**
m.b.t. het dragen van risico's bespreekbaar te maken. Dit komt omdat er onderbouwd kan worden gecommuniceerd en nagedacht over risico's door de verschillende partijen betrokken bij het project.
- * **Economische ontwerpen**
te verkrijgen. Dit is te bereiken doordat een opeenstapeling van te ruim genomen zekerheden kan worden voorkomen door het rationeel benaderen van de onzekerheden van de diverse variabelen in het model.
- * **Ontwikkeling van kennis**
te stimuleren, te documenteren en te integreren met andere vakgebieden.
[Schouls, Risico-analyse in de bouw]
[Vermande, Risico-management en risico-analyse bij IR-bureau NS]
[KIVI, Toegepaste risico-analyse, waar determinisme te kort schiet]

Uiteindelijk dient risico-analyse bij te dragen aan een beter bedrijfsresultaat.

3.2.5 Waar kan risico-analyse worden toegepast?

Risico-analyses kunnen op allerlei problemen van diverse aard worden toegepast. Hierbij zijn er diverse indelingen mogelijk. Afhankelijk van onder andere het project, type probleem, type organisatie, betrokken partijen en het proces kan er een indeling gemaakt worden.

In deze studie is gekozen voor een indeling naar **tijd** en wel uitvoeringstijd daar dit begrip in deze context centraal staat. Er zijn diverse tijdschalen en bijbehorende indelingen mogelijk voor het maken van risico-analyses, te weten op:

- * strategisch niveau
- * tactisch niveau
- * operationeel niveau

* **Risico-analyse op strategisch niveau**

De risico's worden beschouwd die van belang zijn voor het toekomstig beleid van een organisatie. Er spelen lange-termijn beslissingen zoals investeringen, overnames, fusies, organisatiestructuur en dergelijke, die een vrij ingrijpende invloed kunnen hebben op de organisatie. Hierbij is van belang dat de omgeving van de onderneming op risico's wordt gescanned zodat op [markt]mogelijkheden c.q. bedreigingen kan worden vooruitgelopen. Deze analyse worden gekenmerkt als zijnde globaal [geen details], toekomstgericht [5 á 10 jaar], complex, niet of nauwelijks automatiseerbaar, vaak ad hoc.

Voorbeeld

Het huidige Masterplan van Schiphol dat erop gericht is de luchthaven Schiphol op termijn van 15 á 20 jaar te laten uitgroeien tot een van de vier grootste "Mainports" van Europa is hier een goed voorbeeld van.

onzekerheden: passagiersaantallen, investeringen, vliegtuigbewegingen, concurrentie

* **Risico-analyse op tactisch niveau**

De risico's worden beschouwd die van belang zijn op middellange termijn. Er spelen zaken als uitvoeringstijden, budgetbepaling, prijsbepaling, personeelsaanstelling, vaststelling van prioriteiten en voorkeur qua organisatievormen, budgettering, realisatie en afstemming van projecten. Behalve de nabije toekomst zullen de risico's van het heden moeten worden geanalyseerd. Hierbij is het van belang dat de partners en deelnemers van onderneming vast komen te staan, alsmede de leveranciers, derden en overige zaken als vergunningen en grondaankopen. Deze analyses worden gekenmerkt door minder complexiteit (lees vaagheid), het steeds wisselende karakter van de informatie, toekomstgerichtheid [1 á 5 jaar], automatiseerbaarheid, structureerbaarheid.

Voorbeeld

Het uitgevoerde Masterplan van Schiphol voor de "eerste planperiode 1989-1993" dat de projecten omvatte die de voorkeur verdienden wat betrof noodzaak tot aanpak en realisatie.

onzekerheden: haalbaarheid, kredietwaardigheid, opleverdata, aantrekken van aannemers en contractors, prijs-schommelingen, baanbeschikbaarheden

* **Risico-analyse op operationeel niveau**

De risico's worden beschouwd die van belang zijn voor het heden. Er spelen concrete zaken als uitvoeringstijden, te halen producties, kortingen, meer en minder werk, aanvoer en kwaliteit van materialen. Dergelijke analyses hebben als kenmerk routinematigheid, gericht op het heden [0 á 1 jaar], direct, automatiseerbaar, vaak gestructureerd.

In deze studie zal voornamelijk over de risico's op dit operationele niveau (de fase van uitvoering van een GWW-project) worden uitgeweid.

Voorbeeld

*Een uitvoeringsschema van een aannemer waarop staat aangegeven hoeveel productie door welke arbeiders op die specifieke dag moet worden gehaald.
onzekerheden: klimaat, arbeidsomstandigheden, materiaal, materieel, stand van de techniek, gebruik van de techniek, geld, tijd, kwaliteit*

3.3 Vormen van risico-analyse**3.3.1 Algemeen**

Risico-analyse is een verzamelnaam voor verschillende methodieken en technieken die tot doel hebben het analyseren van risico's. Afhankelijk van het vooropgesteld doel, het type project-situatie-onderwerp, de fase waarin het project cq. onderzoek zich bevindt, mate van gecompliceerdheid en voorkomen van soorten onzekerheden zal de ene methode zich beter lenen voor gebruik dan de andere.

Men maakt onderscheid naar twee vormen van risico-analyse, te weten:

"Traditionele" project-risico-analyse

De ontwikkeling van de traditionele project-risico-analyse heeft twee fundamentele paden gevolgd: de *kwalitatieve en kwantitatieve benaderingen*. Bij de kwalitatieve benadering wordt iedere risico-factor slechts globaal ingeschat, bij de kwantitatieve benadering wordt het risico "echt" berekend in de vorm van kansverdelingen. Als tussenvorm zou men nog een soort *semi-kwantitatieve benadering* kunnen onderscheiden, waarbij een "risico-waarde" voor het project als geheel wordt bepaald. Ieder van de methodes kent haar eigen aanhangers. Deze vorm van risico-analyse is in feite tamelijk statisch omdat er niet direct rekening wordt gehouden met toekomstige beslissingen en corrigerende respons van het management als reactie op het risico gedurende het project.

"Dynamische" project-risico-analyse

In Noorwegen is de afgelopen jaren een alternatief ontwikkeld: de *dynamische risico-analyse*, waarbij beslissingen en respons wel in het model worden meegenomen.

[Vermande, Risico-management en risico-analyse bij IR-bureau NS]

Bij de keuze van de risico-analyse techniek is het van belang te weten met welk type risico of onzekerheid men te maken heeft. Bepaalde risico's en onzekerheden laten zich wel modelleren en kwantificeren en andere situaties niet. Hier komen de meerdere dimensies van het begrip risico weer naar voren.

Voorbeeld

- * *het risico "overschrijding van een bepaalde uitvoeringsduur" laat zich modelleren en de hiermee samenhangende kosten laten zich kwantificeren.*
- * *het risico "bedrijfsongeval" laat zich modelleren maar de hiermee samenhangende (financiële) schade(n) als gevolg van de dood van een persoon laten zich niet kwantificeren (wel als 1 dode, maar niet in geld).*

Er dient dus eerst een principiële keuze gemaakt te worden wat men te weten wil komen en op welk abstractie-niveau er een risico-analyse gemaakt moet worden. Vaak is het definiëren van een bepaalde ongewenste (top-)gebeurtenis een uitstekend middel om actuele risico's te identificeren. Hieraan gerefereerd kan rechtstreeks worden aangegeven hoe de onzekerheid bijdraagt aan het optreden van de ongewenste gebeurtenis.

De verschillende benaderingen van risico-analyse zullen hierna kort worden beschreven, de voornaamste voor- en nadelen worden besproken, en aangegeven wordt in welke situaties of bij welk soort problemen men welke benadering zou kunnen kiezen.

3.3.2 De kwalitatieve benadering

Bij de toepassing van deze methode worden de risico's gekwalificeerd, dat wil zeggen men wil de ernst en de invloed van een risico taxeren zonder de gegevens op een getalsmatige manier te onderbouwen. Hooguit komt men tot een lijst met prioriteiten die gevormd worden door de risico's die de meeste invloed op het eindresultaat kunnen hebben. Er wordt meestal op basis van cruciale criteria als veiligheid, kosten, snelheid, betrouwbaarheid, etc. een ordinale rangorde aan de risico's toebedeeld. Als resultaat krijgt men dus uitspraken over de bijdrage van een bepaald risico aan de totale onzekerheid van het project in de trant van veel, minder en weinig. Het doel is de grote risico's opsporen en vervolgens een ruwe rangorde vast te stellen in prioriteiten.

Voorbeelden

checklisten, diagnose technieken, fouten en gebeurtenissenbomen (indien kwalitatief, krachtenveldanalyse, gevoeligheidsanalyse, expertsystemen)

Voordeel

Het grote voordeel van deze optiek is de eenvoud waarmee snel en zonder al te grote wiskundige-statistische kennis, inzicht kan worden verkregen in het risico-profiel van het project (de relevante onzekerheden).

Nadeel

Geen inhoudelijke informatie van het risico qua grootte en kans van optreden.

Toepassingsgebied

Aan het begin van een onderzoek of project.

*[Vermande, Risico-management en risico-analyse bij IR-bureau NS]
[Vrijling en Vrouwenfelder, b3 dictaat Probabilistisch ontwerpen]*

3.3.3 Semi kwantitatieve technieken

Bij de semi-kwantitatieve technieken is van kwantificering, door middel van kansverdelingen, nog steeds geen sprake maar wel wordt getracht een soort 'risicowaarde' of 'risico-index' (-indicator) te koppelen aan het project. Hierbij maakt men gebruik van gegevens van vroegere, analoge projecten. Deze index is voor de organisatie een afspiegeling van het huidige project-risico ten opzichte van eerder uitgevoerde projecten. Bij toepassing van deze methode moet men bedacht dat de huidige omstandigheden corresponderen met die van de projecten waaraan gespiegeld wordt.

Een voorbeeld van zo een risico-analyse model genaamd SarBachet en voornamelijk afkomstig van automatiseringsprojecten, maakt gebruik van antwoordscores op vragen. Deze antwoorden vormen uiteindelijk tezamen een risico-index voor het gehele project. Elk antwoord vertegenwoordigt een bepaalde risico-factor en voor iedere vraag is een wegingsfactor gedefinieerd gerelateerd aan de factoren van de overige vragen. Om de risico-waarden te bepalen wordt de risico-factor van het gegeven antwoord vermenigvuldigd met de wegingsfactor. De waarde-factoren zijn statistisch onderbouwd op grond van historische gegevens. Een uiteindelijke risico-index van bijvoorbeeld 40% geeft aan dat het om een "riskant" project gaat en dat er onder de 20% eigenlijk geen maatregelen hoeven te worden getroffen. Deze risico-indicatoren zijn dus geen kanspercentages maar weerspiegelen slechts het overschrijdingsgevoel van budget of tijd.

Voorbeelden

SarBachet Analyses, PIMS (Project Integrated Management Systems) en andere diagnose-technieken.

Voordelen

Er wordt gevoel gekweekt voor het project-risico.

Nadelen

Men moet terdege bedacht zijn op de analoge omstandigheden van het onderhavige project ten opzichte van de referentie-projecten.

Toepassingsgebied

Het project-niveau.

[Vermande, Risico-management en risico-analyse bij IR-bureau NS]

3.3.4 Kwantitatieve technieken

In de kwantitatieve benaderingen worden risico's statistisch of probabilistisch berekend door middel van kansverdelingen. Dit is Risk Analyses in de oorspronkelijke betekenis van Hertz (1964), die deze benadering introduceerde voor economische evaluaties. Hierop is voortgebouwd in vooral de proces-veiligheid, waar geavanceerde technieken zijn ontwikkeld. Deze technieken combineren vaak (deel)risico's in een boomstructuur volgens wiskundig-statistisch concept.

Voorbeelden

Monte Carlo-simulatie, fouten- en beslissingsbomen, simulaties, etc.

Voordelen

Het risico kan "echt" worden berekend.

Nadelen

Veel wiskundige en statistische kennis benodigd (die niet altijd door iedere projectdeelnemer, ter plekke, beheerst wordt en dan eventueel (duur) ingekocht moet worden).

Toepassingsgebied

Verschillende niveaus (van projectniveau tot constructieniveau, niveau I, II, III en exacte berekeningen).

[Lieberman, Introduction to Operations Research]

[Vrijling en Vrouwenvelder, b3 dictaat Probabilistisch ontwerpen]

Het zelf ontwikkelde risico-analyse model maakt vooral gebruik van deze kwantitatieve technieken.

3.3.5 Dynamische risico-analyse

In deze benadering wordt expliciet rekening gehouden met strategische toekomstige beslissingen die gedurende het project genomen kunnen worden als reactie op onzekerheden en risico's. Het project wordt opgevat als een dynamisch proces waarbij de beslisser zijn plannen kan bijstellen tijdens het projectverloop. Kenmerkende eigenschappen van dynamische risico-analyses zijn het optimaliseren van een gekozen concept door het verbeteren van tijd-schema's, kostenschattingen en -beheersing, inschatten van winstgevendheid van het project. Bijsturen en optimaliseren van het gekozen alternatief staat in deze kwantitatieve, numerieke benadering centraal.

Voorbeelden

Dynrisk, invloedsdiagram-technieken

Voordelen

De dynamiek kan tot verdere optimalisatie leiden.

Nadelen

De dynamiek kan het oorspronkelijke beeld vertekenen; lastig voor modelvorming.

Toepassingsgebied

Optimalisatie van de gekozen oplossing voor het project.

[Baardwijk van, Risico's: Risicovol of niet?]

[Vermande, Risico-management en risico-analyse bij IR-bureau NS]

3.4 Verloop van een risico-analyse

3.4.1 Algemeen

De opzet van een risico-analyse kan worden gemodelleerd. Er zijn diverse modellen mogelijk. In *figuur 3.1* is schematisch het algemene verloop van een risico-analyse weergegeven. Dit is een vrij globaal schema dat is gebruikt voor het opzetten van het eigen rekenmodel.

Er zijn een aantal kenmerkende delen en eenheden binnen de opzet van een risico-analyse te onderscheiden, te weten:

Ten eerste:

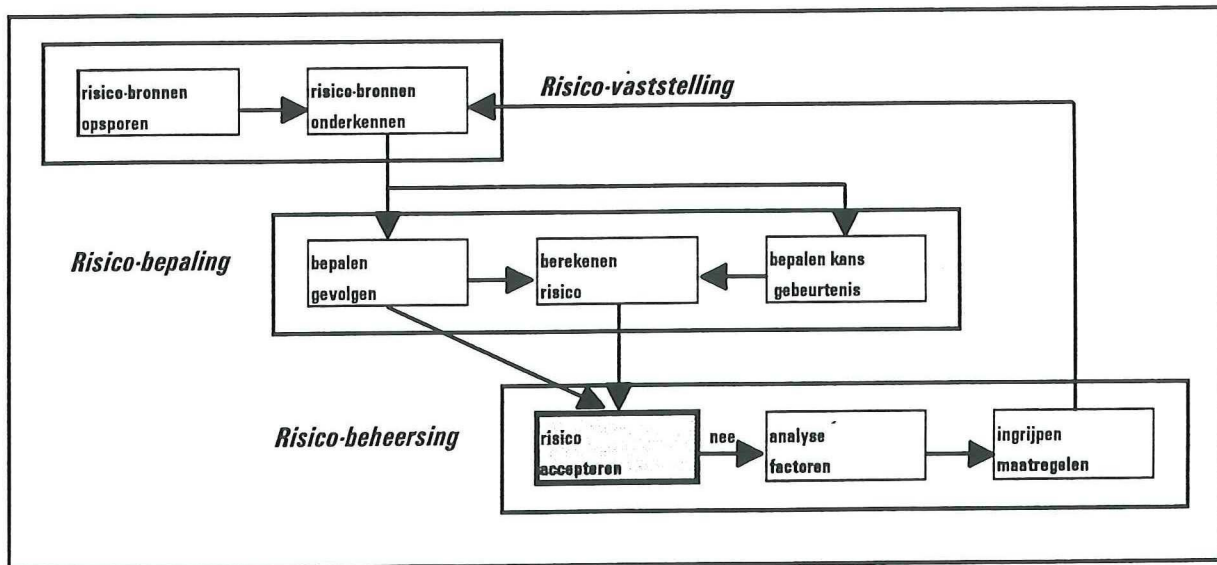
Het vaststellen van de ongewenste gebeurtenis

de definitie van de absoluut niet gewenste situatie

en vervolgens;

- * de risico-vaststelling
- * de risico-bepaling
- * de risico-beheersing

de risico-bronnen opsporen
het berekenen van het risico
het omgaan met de risico's



Figuur 3.1 De samenhang van risico-vaststelling, risico-bepaling en risico-beheersing

3.4.2 Risico-vaststelling

Dit onderdeel van de risico-analyse is meestal kwalitatief. Er wordt op risico-bronnen gediagnostiseerd. Vastgesteld wordt waar het risico in zit en welke risico's nader onderzoek waard zijn. Als eerste eis moet worden gesteld dat de kosten voor het maken van een risico-analyse opwegen tegen de eventueel verkregen baten. Het vaststellen van de relevante risico's bestaat uit twee stappen, te weten:

- * het identificeren van risico-bronnen
- * het onderkennen van risico-bronnen

* Risico-bronnen identificeren

Met identificeren van risico-bronnen wordt bedoeld dat de afkomst en gevolgen van de onzekerheid kunnen worden herkend, opgespoord of opgemerkt. Resultaat is dat de risico-bronnen behorende bij dit project aantoonbaar worden en vastgesteld kan worden of deze bijdragen aan het ongewenst gevolg. Vaak kunnen risico-bronnen voldoende herkenbaar zijn als er op criteria als veiligheid, kosten, kwaliteit en betrouwbaarheid wordt getoetst. Ook kan op grond van ervaring intuïtief aangevoeld worden waar het risico in kan zitten. Echter kunnen er ook verscholen risico-bronnen aan het project zitten. Met behulp van specifieke vragenlijsten of risico-checklisten zou kunnen worden geprobeerd de relevante onzekerheden boven tafel te krijgen. Soms is de perceptie en de benoeming van de onzekerheid reeds voldoende.

* Risico-bronnen onderkennen

Met het onderkennen van risico's wordt bedoeld dat er ingeschat wordt of het risico wel of niet in verwaarloosbare of belangrijke mate bijdraagt aan de totale onzekerheid van het project; de absoluut ongewenste gebeurtenis. Als de risico-bron onderkent wordt, veronderstelt men dat deze wezenlijk bijdraagt aan de onzekerheid en zal er meestal toe worden overgaan te bepalen hoe groot het aandeel is in de totale onzekerheid. Dit wordt vaak getoetst aan de maat: $\text{risico} = \text{kans} * \text{gevolg}$.

Als de relevantie van de risico-bron kan worden aangetoond is het dus de moeite waard om een analyse uit te voeren. Niet alle herkende risico-bronnen hoeven dus in aanmerking te komen voor verdere analyse. Bij het onderkennen van risico-bronnen kan getoetst worden op zaken zoals de grootte van de verwachte schade, de mogelijke bekendheid van de kans, stremming voor het project, verzekeringsvoorwaarden etc. Onderkennen van de relevante risico-bronnen geeft de mogelijkheid prioriteiten te stellen aan risico's die verder geanalyseerd kunnen worden.

3.4.3 Risico-bepaling *(zie 3.7, Bouwstenen voor kwantitatieve analyses)*

Dit onderdeel van de risico-analyse is meestal kwantitatief. Het accent ligt op het uitrekenen van de risico's. Van de relevante risico's verbonden aan het project moet worden vastgesteld wat de bijbehorende kansen en gevolgen zijn.

Het bepalen van het risico bestaat uit drie onderdelen te weten:

- * het vaststellen van de gevolgen (qua kwaliteit, tijd, kosten etc.)
- * het onderzoeken en vaststellen van de kans van de gebeurtenis en/of verdeling
- * het berekenen van de risico's

* **Gevolgen vaststellen**

Het vaststellen van de gevolgen houdt direct verband met de doelstelling van het project. Gevolgen kunnen zich onder andere uiten in de grootheden kwaliteit, tijd, kosten, organisatie, realisatie en prestige. In dit onderzoek is het van belang te weten welke gevolgen in de grootte tijd kunnen optreden uitgedrukt in dagen, weken etc. In iedere fase van het project zullen er andere risico's zijn die gevolgen in tijd zullen hebben. *(zie 3.7, Bouwstenen voor kwantitatieve analyses)*

* **Kans van de gebeurtenis vaststellen**

Met het vaststellen van de kans van de gebeurtenis wordt bedoeld dat er een kansverdeling of een uitspraak over de frequentie van optreden van een gebeurtenis komt vast te staan. *(zie 3.7, Bouwstenen voor kwantitatieve analyses)*

* **Berekenen van het risico**

Hier wordt het uiteindelijke waarde-oordeel van het risico bepaald. De berekening mondt uit in een getal of een waardering gekoppeld aan het risico, uitgedrukt in bijvoorbeeld tijd of geld. Een vaak gebruikte rekenbenadering is die waarbij men stelt dat risico gelijk is aan de kans van optreden maal het gevolg van het risico. (risico = kans * gevolg) *(zie 3.7, Bouwstenen voor kwantitatieve analyses)*
[Vrijling en Vrouwenvelder, b3 dictaat Probabilistisch ontwerpen]

3.4.4 Risico-beheersing

Dit onderdeel van de risico-analyse is meestal kwalitatief en daarbij worden beslissingen genomen ten aanzien van het wel of niet accepteren van risico's.

Vaak wordt echter dit onderdeel vereenzelvigd met het begrip *risico-management*.

[Vermande, Risico-management en Risico-analyse bij ingenieursbureau NS]

Het accent van risico-beheersing ligt op het nemen van beslissingen ten aanzien van risico's. Het beheersen van risico's bestaat uit drie onderdelen te weten:

- * risico-evaluatie en -beoordeling
- * risico-acceptatie
- * risico-respons

* **Risico-evaluatie en -beoordeling**

Hieronder wordt verstaan het vinden van een acceptabel niveau of norm van een risico voor een persoon. Deze persoon kan zijn een individu, groep, gemeenschap, opdrachtgever of opdrachtnemer.

* **Risico-acceptatie**

Hieronder wordt verstaan het wel of niet bewust aanvaarden van een risico door een persoon. Deze persoon kan zijn een individu, groep, gemeenschap, opdrachtgever of opdrachtnemer.

* **Risico-respons**

Hieronder wordt verstaan het beantwoorden van geïdentificeerde, gekwantificeerde en geëvalueerde risico's en het zo nodig treffen van maatregelen. Het treffen van maatregelen kan betrekking hebben op het elimineren, omzeilen en minimaliseren van risico's. De maatregelen kunnen worden getroffen op de verschillende componenten van de risico's, te weten:

- * risico-bronnen : elimineren, minimaliseren
- * de kans : verkleinen
- * de schade : spreiden, concentreren, verkleinen, overhevelen, afstoten d.m.v. verzekeringen/contracten

Het reageren op risico's wordt gedaan uit oogpunt van risico-reductie; het doel is de kans op een succesvolle realisatie van het project te verhogen. Dit uit zich meestal in investeringen in extra onderzoek, tijd, machines, personeel en verzekeringspremies.

3.5 Risico-indelingen

Risico's kunnen op diverse manieren worden getypeerd. In deze paragraaf wordt volstaan met een aantal benoemingen, te weten;

Tabel 3.1 *Typering van risico's*

Typering	Kwantitatief	Kwalitatief
Voorspelbaar	- fluctuaties in budgetbegrotingen, statistisch bekend - onwerkbaar weer, statistisch info bekend	- de kwaliteit van het afgeleverde produkt - ernst van vervuiling verontreinigde grond
Niet voorspelbaar	- natuurramp, statistische info wel bekend	- vandalisme, sabotage, diefstal

Afhankelijk van het werkgebied, stadium van het project en type onderzoek maakt men in het dagelijks taalgebruik nog gebruik van onderstaande benoemingen. In deze studie wordt hier niet verder over uitgeweid.

Benoemingen:

- * initiatief-, definitie-, ontwerp-, besteks-, uitvoerings-, nazorg- en beheersrisico's
- * wettelijke, juridische, economische, technische, sociale en politieke risico's
- * aannemers- en opdrachtgevers-risico's
- * interne, externe en inherente risico's
- * speculatieve en artificiële risico's
- * een- en meerdimensionale risico's
- * individuele en groepsrisico's
- * combinaties van alle bovengenoemde risico's

Gezien het feit dat in deze studie gezocht wordt naar een praktisch toepasbare vorm van risico-analyse is bij het ontwikkelde rekenmodel de aandacht voornamelijk uitgaan naar kwantitatieve en bijzondere gebeurtenissen. Bij kwantitatieve risico's moet worden gedacht aan frequentistische gebeurtenissen getypeerd door een *waarschijnlijkheidsverdeling*. Bij bijzondere gebeurtenissen moet worden gedacht aan unieke gebeurtenissen met meestal een kleine kans van optreden maar met grote gevolgen in tijd en geld. Met behulp van kwalitatieve risico-analyse wordt de ernst van de risico's bepaald en vervolgens besloten of deze zullen worden meegenomen in de kwantitatieve risico-analyse. *(zie 3.4.3, Risiko-bepaling)*

3.6 Voorwaarden voor het uitvoeren van een risico-analyse

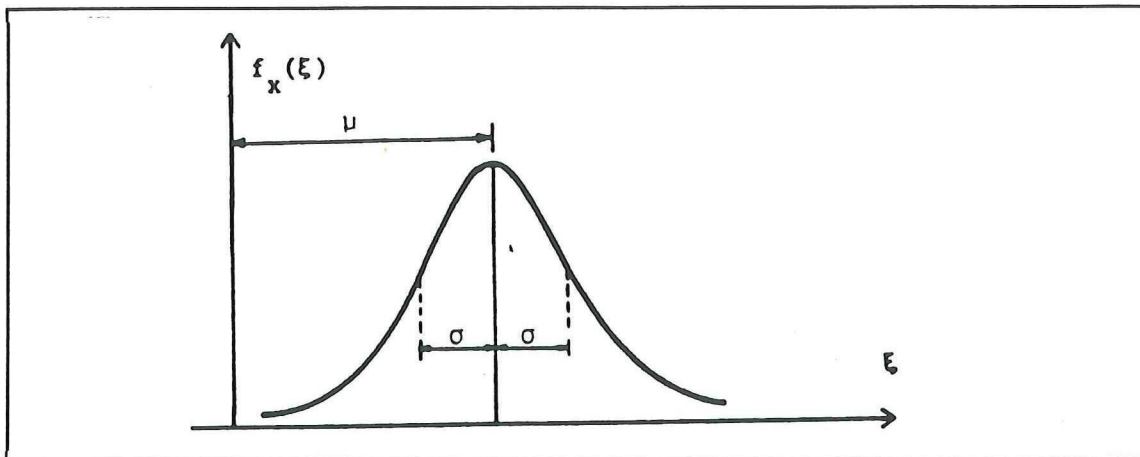
Voor het doen slagen van een risico-analyse zijn er een aantal voorwaarden waar aan voldaan moet worden, maar waar nu verder niet op wordt ingegaan. De belangrijkste factoren zijn:

- * de aanwezigheid van een plan, aanpak, systeem, organisatie, model
- * het kiezen van het doel ofwel wat wil men te weten komen
- * een keuze van het niveau waarop de risico-analyse moet worden uitgevoerd
- * experts van de betreffende discipline die de relevante risico's kunnen aangeven
- * de variabelen met hun statistische informatie
- * een model (het plan) dat de relatie tussen de variabelen weergeeft
- * een methode die, met behulp van de statistische informatie en de relaties tussen de variabelen, het risico berekent
- * flexibiliteit in benadering van het risico

3.7 Bouwstenen voor kwantitatieve analyses

In de rest van deze studie zal voornamelijk gebruik worden gemaakt van kwantitatieve analyses. Om het model en de werking ervan te kunnen begrijpen is een beknopte introductie in de probabilistiek noodzakelijk. Met behulp van gedeelten van de probabilistiek, waaronder de statistiek, is het mogelijk om variabelen te beschrijven, te bestuderen en te berekenen. Van de lezer wordt verwacht dat deze voldoende kennis

$-\infty$ tot ∞ . Dit wordt vaak verwaarloosd en volstaan wordt met waarden van ± 3 maal de σ (standaard afwijking). Als in de praktijk, voor een aantal waarnemingen van een stochast, een klokvormig silhouet wordt waargenomen gaat men er vaak toe over voor deze variabele de Gauss-kromme (zie figuur 3.2) als kansdichtheid te kiezen. De verdelingsfunctie van de normale verdeling is niet in analytische vorm bekend, maar kan worden opgezocht in tabellen.



Figuur 3.2 Kansdichtheidsfunctie van de normale verdeling

Voorbeeld

Toepassing van de normale verdeling.

Een activiteit heeft een gemiddelde duur $\mu(X)$ van 40 dagen, met een variatie-coëfficiënt van 15%. Wat is bij veronderstelling van een normale kansdichtheid de kans dat de duur van de activiteit minder dan 46 dagen bedraagt?

De standaardafwijking $\sigma(X) = 6$ dagen zodat :

$$P(X < 46) = P(40 + 6u < 46) = P(u < 1) = \Phi_N(1) = 1 - \Phi_N(-1) = 1 - 0.16 = 84\%$$

Een continue stochastische variabele kan worden omschreven door zijn verdelingsfunctie (F). Deze functie geeft de kans aan dat een stochastische variabele onder een bepaalde waarde (\forall) ligt:

$$F_x(\forall) = P(X \leq \forall) \text{ met } F_x = 0 \text{ als } \forall \downarrow -\infty \text{ en } F_x = 1 \text{ als } \forall \uparrow \infty \tag{3.4}$$

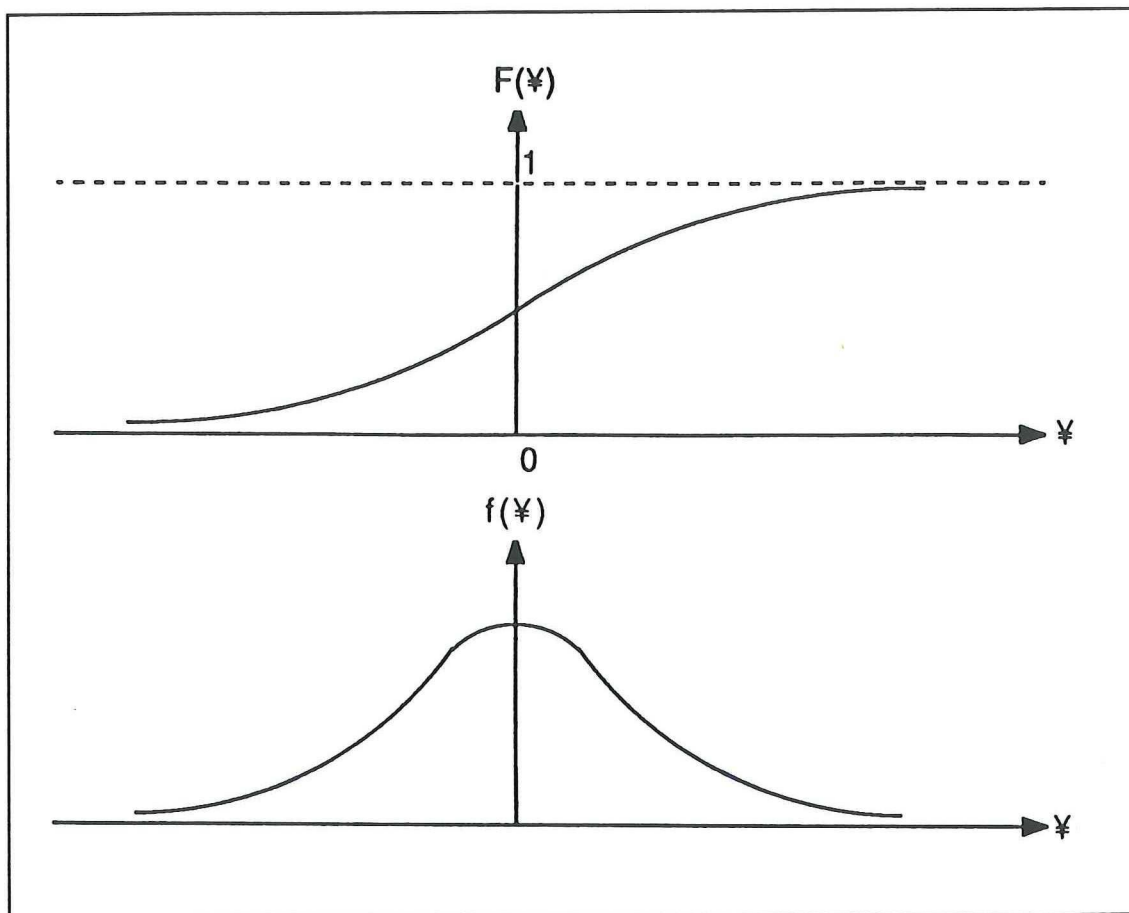
De afgeleide van (F_x), (F_x') wordt ook wel de kansdichtheidsfunctie genoemd;

$$(F_x') = f_x(\forall) = dF_x(\forall)/d\forall \tag{3.5}$$

Hiernaast zijn in de vorm van grafieken een verdelingsfunctie en een kansverdelingsfunctie (kdf) voor een willekeurige continue stochastische variabele X beschreven. De verdelingsfunctie is monotoon stijgend (zie figuur 3.3). Is de verdelingsfunctie of de kdf bekend dan kunnen over- en of onderschrijdingskansen worden berekend. De dichtheidsfunctie vermenigvuldigd met een infinitesimale intervalbreedte geeft de kans dat de stochastische variabele een waarde aanneemt binnen dat interval. Merk op dat $F_x(\forall)$ overeen komt met het oppervlak links van \forall onder de kansdichtheidsfunctie.

Er hoeft niet altijd sprake te zijn van een symmetrische kansverdeling. Het sommeren van (vele) onafhankelijke continue stochasten zal volgens de Centrale Limietstelling resulteren in een stochast die opnieuw beschreven kan worden met de normale verdeling.

[Vrijling en Vrouwenvelder, b3-dictaat Probabilistisch ontwerpen]

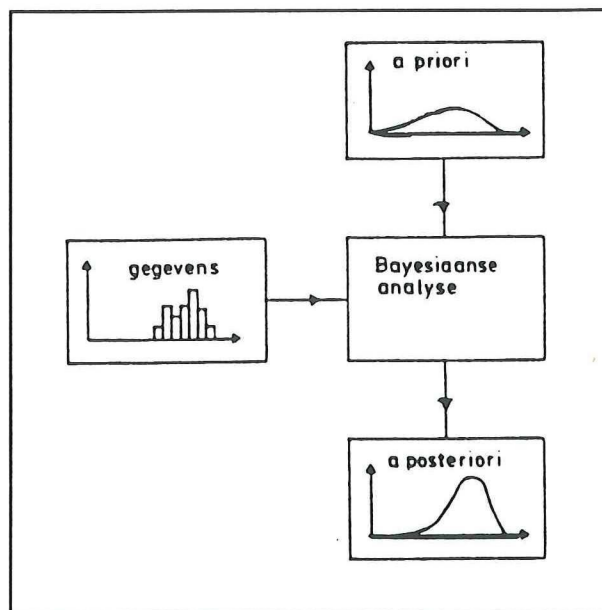


Figuur 3.3 Voorbeeld van kansdichtheid- en kansverdeling van een continue verdeelde stochast

* **Discrete kansverdelingen**

zijn van toepassing als er niet gesproken kan worden van vergelijkbare uitkomsten zoals goed of fout, uitloop of geen uitloop. Er zijn wel diverse classificaties van uitloop aan te geven als geen, weinig, matig en veel. Het aantal dient wel beperkt te blijven. De kansen zijn dus geconcentreerd op een aantal punten. Een voorbeeld van een discontinuë verdeling is het winnen van een prijs in de loterij.

Een discrete kansdichtheid voor een variabele kan als hieronder worden weergegeven (zie figuur 3.4). Hierin stelt p (van probability) de kans voor van optreden van een gebeurtenis met gevolg B. Merk op dat de gebeurtenis B ook kan worden gerepresenteerd door een continue kansdichtheid, waarbij het gevolg een scala van waarden kan aannemen op een beperkt interval.



Figuur 3.5 *Principe van Bayesiaanse analyse: een subjectieve a priori verdeling wordt met objectieve gegevens gecombineerd tot een zogenaamde a posteriori-verdeling, met behulp van de Regel van Bayes.*
[Vrijling en Vrouwenvelder, b3 dictaat Probabilistisch ontwerpen]

De regel van Bayes

De regel van Bayes houdt in dat de kans dat twee gebeurtenissen A en B allebei zullen optreden, $P\{A|B\}$, gelijk is aan de kans van de eerste gebeurtenis $P\{A\}$ vermenigvuldigd met de kans dat als eerste plaats heeft gevonden ook de tweede zal plaatsvinden, $P\{B|A\}$. In formule-vorm:

$$P\{A|B\} = P\{A\} * P\{B|A\} * N \quad (3.8)$$

(N is een normeringsconstante, die hier buiten beschouwing blijft)

Indien A een bepaalde gebeurtenis is met een subjectieve vooraf ("a priori") vastgestelde kans $P\{A\}$, en B de ten tijde van gebeurtenis A beschikbare statistische informatie is met een waarschijnlijkheid $P\{B|A\}$, ook wel genoemd de "data waarschijnlijkheid", dan is de achteraf "a posteriori"-kans van gebeurtenis A evenredig aan het produkt van de "a priori"-kans en de "data-waarschijnlijkheid" bij gegeven A.

Wanneer men gebruik wil maken van probabilistische methoden is men dus het meest gebaat bij een Bayesiaans kansbegrip. Voor de beoordeling van een systeem heeft de risico-analist er behoefte aan alle vormen van onzekerheid mee te nemen en alle aanwezige informatie in te brengen. In een Bayesiaanse analyse is dat mogelijk, zij het op een subjectieve manier. De klassieke mathematische statistiek tracht daarentegen alleen objectieve uitspraken te doen, maar kan daardoor minder informatie en minder vormen van onzekerheid meenemen.

[Vrijling en Vrouwenvelder, b3 dictaat Probabilistisch ontwerpen]

De kracht van Bayesiaanse analyse schuilt erin dat de (gevoelsmatige) parameters (μ en/of σ) van een te gebruiken verdeling gecombineerd met historische gegevens verbeterd kunnen worden tot nieuwe parameters (μ' en σ') voor de te gebruiken verdeling.

C de Delphi-techniek

is een van de eerste methoden die bij risico-analyse gebruikt werd. De inschatting van de potentiële risico's, die bijvoorbeeld in een risico-catalogus of -checklist zijn aangeduid, gebeurt door een team van deskundigen. Het doel van deze techniek is om uit een groepsmening subjectieve kansverdelingen te distilleren.

In feite is de Delphi-techniek een toepassing van de Bayesiaanse analyse.

De procedure is in het kort:

- * **exacte definitie en inkadering** van de risico's;
- * **risico-discussie:** ieder lid van het team van deskundigen moet gelijke informatie bezitten over de risico's, de oorzaken, de onderlinge afhankelijkheden, variabelen en dergelijke;
- * **schatting:** na de discussie vertellen de deskundigen hun mening over de omvang van het risico en de bijbehorende waarschijnlijkheid van optreden.

Als de meningen over de risico-schatting in eerste instantie uiteen lopen is dit geen enkel bezwaar. Het is niet de bedoeling om de verschillen in mening direct na de eerste ronde te bediscussiëren. De meningen van de deskundigen worden anoniem verzameld en vervolgens aan de overige groepsleden voorgelegd. De deskundigen kunnen nu tot nieuwe inzichten komen, en hun schattingen bijstellen.

Deze cyclus is voor herhaling vatbaar totdat een resultaat wordt bereikt dat door alle teamleden wordt gesteund. In feite worden de verschillende individuele subjectieve meningen van de deskundigen genormeerd tot een bruikbare risico-inschatting voor het betreffende project.

[Mooibroek, Bepaling van het verlet bij cutterzuigers]

3.8 Conclusies

Risico-analyse kan op verschillende manieren worden uitgevoerd. Toch kan in hoofdlijnen wel overeenkomst tussen de technieken worden aangetoond. De overeenkomst bestaat eruit dat de methoden allen meer of minder de componenten risico-identificatie (vaststelling), -bepaling (berekening) en -beheersing in zich dragen.

In feite worden over het algemeen eerst de potentiële risico-bronnen opgespoord. Van deze onzekerheden worden de bijbehorende kansen van optreden en verwachte gevolgen bepaald of ingeschat. De ernst van het risico bepaalt of nadere analyses nodig zijn en of er eventueel tegenmaatregelen moeten worden getroffen.

De voorbereiding en uitvoering van een willekeurig "droog GWW-project" kan worden verbeterd door het toepassen van risico-analyse technieken. Mede gebaseerd op planningservaringen zullen identificatie-technieken op den duur ertoe bijdragen dat de vele mogelijke risico-bronnen worden geïnventariseerd. Deze risico-checklist kan vervolgens bij de voorbereiding van nieuwe projecten als controle-middel fungeren.

Naarmate de voorbereidingen voor een project vorderen zal het overstappen van kwalitatieve naar kwantitatieve risico-analyse methoden zinvoller zijn. Immers komen er steeds meer en betere gegevens tijdens de ontwerpfase vrij, die vervolgens kunnen worden ingezet voor het opstellen van nauwkeurigere ramingen. Met de uitkomsten van deze ramingen en het resultaat van de risico-analyse kan besloten worden om te sturen in de resterende voorbereidingen en uitvoering van het project.

Als de relevante risico's zijn vastgesteld kan er een schifting worden aangebracht in mogelijk uit te rekenen kwantitatieve risico's en kwalitatieve risico's. Voor een kwantitatieve tijdsraming zullen voor beide onzekerheden de tijdgevolgen moeten worden vastgesteld alsmede de kans daarop. Door gebruik te maken van een risico-checklist wordt tevens bevorderd dat er op langere termijn ook statistische analyses kunnen worden uitgevoerd.

Aan de hand van deze kwantitatieve gegevens kan de (kwantitatieve) risico-berekening plaatsvinden in de grootheid tijd. Het resultaat van de berekening is dat een uitvoeringsduur kan worden geraamd, gekoppeld aan een bepaalde haalkans. Ook de verwachte uitloop is aan te geven. Op deze wijze kunnen planningen worden opgesteld of gecontroleerd die voldoen aan een vooropgestelde betrouwbaarheid.

Voor de fase van uitvoering kan, afhankelijk van de geraamde bouwtijd en de verwachte uitloop, een kosten-totaal worden opgesteld. Aan de hand van deze kostenraming kan het project-management mede gebaseerd op het bedrijfsresultaat onderbouwd besluiten nemen.

Bij gebruik van deze probabilistische benadering, ten aanzien van besluitvorming rond bouwtijd en kosten, onderkent het project-management impliciet of expliciet een bepaalde maat van risico-acceptatie.

4 Het rekenmodel voor risico-analyse op uitvoeringsniveau

4.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt het ontwikkelde probabilistische rekenmodel voor de exacte bepaling van de uitvoeringsduur van GWW-projecten verduidelijkt. Door middel van Monte Carlo simulatie zijn de kennisdomeinen Planning en Risico-analyse met elkaar versmolten tot een computer-programma PROBABILISTIC TIME-ESTIMATOR dat de uitvoeringsduur van een willekeurig droog infrastructuur project voorspelt. Aan de hand van het project FICTION, waarvan in *bijlage 1* de completere omschrijving is opgenomen zal de ontwikkeling, opbouw en werking van dit rekenmodel worden uiteengezet.

4.2 Inleiding

In de praktijk blijkt het plannen van infrastructurele projecten een riskante onderneming te zijn aangezien de werkelijke uitvoering en gemaakte uitgaven zelden **exact** overeenkomen met het oorspronkelijke, voorgenomen plan.

Aan de hand van een betrouwbare inschatting van de uitvoeringsduur kan een (planner vaak namens de) **opdrachtgever** toetsen of een afgesproken opleverdatum gehaald wordt. Dit is van belang voor het bepalen van het moment waarop het produktiemiddel, zijnde een haven, startbaan, snelweg, etc., (weer) in gebruik kan worden genomen. Merk op dat de operationele schema's en de beschikbare capaciteit van het bedrijf volkomen afhankelijk zijn van deze opleverdatum. Tevens kan de berekende bouwtijd een goede basis voor overleg vormen tussen opdrachtgever en opdrachtnemer, om te komen tot een concretere prijsafspraken. Verder biedt het rekenmodel de opdrachtgever, in dit geval Amsterdam Airport Schiphol, de mogelijkheid om de uitvoeringsplanning van de aannemer te controleren en daar waar nodig is bij te sturen. Verder kan er bespaard worden op de voorbereidingskosten van het project; de kwaliteit van het plannen neemt toe en de voorbereidingstijd kan eventueel worden verkort. Ook kan inzicht worden verworven in de opbouw van het huidige project en toekomstige projecten.

Voor de **opdrachtnemer**, de aannemer, biedt het rekenmodel de mogelijkheid te onderzoeken of het opgezette uitvoeringsschema reëel, betrouwbaar en dus haalbaar is. Op basis van deze analyse kunnen onderbouwd de onderhandelingen over tijd- en prijsafspraken met de opdrachtgever worden ingegaan. In een vroeg stadium van het voorbereidingsproces kan een nauwkeurige inschatting worden gemaakt van de uitvoeringsmogelijkheden van het project. Er kunnen aan de hand hiervan gepaste beslissingen worden genomen ten aanzien van in te zetten capaciteit, kapitaal en middelen.

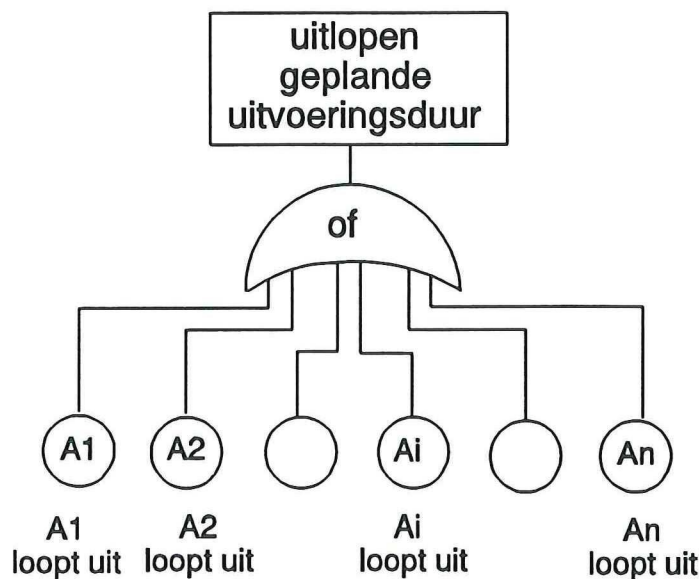
Dit kwantitatieve rekenmodel is opgezet door eerst een ongewenste gebeurtenis te definiëren, getiteld: **het uitlopen van de gewenste uitvoeringsduur** (*zie figuur 4.1*). Hierna zijn per activiteit de relevante risico-bronnen opgespoord en is nagegaan hoe deze meewerken aan het uitlopen van de gewenste uitvoeringsduur. Vervolgens is nagegaan met welke kwantitatieve methoden deze onzekerheden zijn te modelleren.

Dit heeft zich laten vertalen in twee typen onzekerheden en modellen, te weten:

- * de normale onzekerheden gemodelleerd met continue stochasten
- * de bijzondere gebeurtenissen gemodelleerd met discrete stochasten
(zie 3.7, *Inschatten van onzekerheden*)

Beide typen onzekerheid zijn gecombineerd met behulp van simulatie.

In de praktijk kan de voorgenomen uitvoeringsduur uitlopen ten gevolge van de volgende **risico-bronnen**: het voorkomen van andere hoeveelheden en producties dan was aangenomen (meestal "random-fluctuaties") en het optreden van verschillende bijzondere gebeurtenissen. In onderstaande foutenboom is aangegeven hoe de verwachte uitvoeringsduur kan worden overschreden. Binnen het project hoeft er slechts één pad uit te lopen of de voorgenomen uitvoeringsduur kan worden overschreden. Sterker nog, er hoeft slechts één activiteit uit te lopen en het gehele project kan vertraging oplopen. Merk op dat niet iedere activiteit die uitloopt ook zorgt voor vertraging tijdens de uitvoering. In onderstaand schema, maar ook in de rekenmethodiek, wordt met de activiteiten A_i bedoeld: die activiteiten die bij tegenvallende doorlooptijden, daadwerkelijk bijdragen aan verlate oplevering.



Figuur 4.1 Het uitlopen van de geplande uitvoeringsduur als gevolg van het uitlopen van een "kritieke" activiteit A_i .

De tijdsduur van de uitvoeringsfase is met meerdere rekenmethodes te benaderen. Van grof naar fijn zijn de volgende benaderingswijzen te onderscheiden, te weten:

A De deterministische methode

Dit is de huidige manier van plannen, waar per activiteit met één kengetal wordt gewerkt en het niet mogelijk is om onzekerheden in de raming mee te nemen. (zie 2.6, *De actuele manier van plannen*)

B De benaderende probabilistische methode

Deze methode geeft, slechts bij sommatie over een groot aantal activitei-

ten, een redelijke benadering voor de kansdichtheidsfunctie van de einddatum.

C De verfijnde probabilistische benadering

Deze methode geeft vaak voldoende nauwkeurige waarden en moet worden uitgevoerd met behulp van speciale computerprogramma's.

D De exacte benadering

Deze methode geeft, gebaseerd op de exacte kansdichtheidsfuncties van de inputvariabelen, een exacte kansdichtheid voor de einddatum. De kansdichtheidsfuncties kunnen worden benut voor meervoudige integratie of voor het doen van trekkingen door middel van simulatie.

[Vrijling, Spelen met kansen]

In deze studie wordt ervan uitgegaan dat de te verrichten bewerkingen c.q. activiteiten voor de fase van uitvoering reeds in een acceptabele maat van detail bekend zijn. Daarom is gekozen om het rekenmodel op te bouwen volgens methode D; het principe van de exacte benadering. De duren van de activiteiten A_i tijdens de fase van uitvoering worden als de inputvariabelen van het rekenmodel beschouwd. Met behulp van een kwalitatieve risico-analyse kan voor iedere activiteit A_i de potentiële risico-bronnen worden aangegeven. Van deze risico-bronnen wordt met een kwantitatieve analyse bepaald in hoeverre deze bijdragen aan het uitloop-risico.

Het werken volgens de exacte benadering heeft als voordelen dat de spreidingen en onzekerheden gemoeid met de activiteit meetellen in de eindraming. Tevens bestaat de mogelijkheid tot vereenvoudiging van bestekken en is naadloze aansluiting bij de elementenbegroting op den duur mogelijk. Iedere activiteit kan uniek geïdentificeerd worden en draagt bij tot een systematiek voor de projectdeelnemers. De gevonden kengetallen kunnen, als die flexibel gebruikt worden, tot internationale bruikbaarheid en standaardisering van activiteiten leiden. Tot slot wordt kennis-ontwikkeling gestimuleerd.

Het werken volgens de exacte methode heeft als nadelen dat er veel gegevens benodigd zijn of dat deze bekend moeten worden gemaakt (wat overigens weer ten goede komt aan het voorbereidingsproces). Ook zal er speciale programmatuur benodigd zijn en zullen de rekentijden, in vergelijking met andere de rekenmethodes, langer zijn. Ook neemt de bewerkelijkheid toe naarmate er gedetailleerder geraamd wordt.

In de paragraaf 4.3 wordt simulatie als reken-techniek in beknopte vorm behandeld. In paragraaf 4.4 wordt de structuur en werking van het rekenmodel toegelicht. Paragraaf 4.5 gaat in op enkele aspecten bij het gebruik van het model. In paragraaf 4.6 is een toepassing uitgewerkt en in 4.7 staan de conclusies vermeld.

4.3 Simuleren

Hoewel er verschillende soorten computersimulatie zijn (analoge, digitale en hybride simulatie) maakt het ontwikkelde rekenmodel gebruik van Monte Carlo (digitale) computersimulatie. In de volgende paragrafen zullen in vogelvlucht enkele achtergronden en werking van deze onderzoeksmethode worden aangestipt. Het is niet mogelijk in deze beschouwing een volledige beschrijving en/of overzicht van dit vakgebied aan te bieden.

4.3.1 Wat houdt simulatie in?

De letterlijke betekenis van simuleren is nabootsen. Met behulp van simulatie kan het gedrag van een model, dat een systeem representeert, door middel van experimenten worden bestudeerd. Met systeem wordt meestal een werkelijke (praktijk)situatie aangeduid. Een systeem bestaat uit meerdere, verschillende componenten die ieder hun karakteristieke eigenschappen hebben en die onderling verbonden zijn door relaties.

Een model wordt in feite als abstractie van een systeem opgesteld en heeft als karakter de kenmerkende eigenschappen van het systeem. Op te merken valt dat een systeem op meerdere manieren gemodelleerd kan worden, maar dat de modellen in beginsel hetzelfde gedrag als het systeem dienen te vertonen. De aard en gedetailleerdheid van het model kunnen worden gekozen aan de hand van het probleem dat bestudeerd wordt. Enkele type modellen zijn stochastisch/deterministisch, discreet/continu, statisch/dynamisch, open/gesloten, wel of niet stabiel, wel of niet periodiek, wel of niet stationair, economisch, sociaal, etc., in tijd en toestand.

[Fishman, Concepts and methods in discrete event digital simulation]

Het modelleren van een systeem verschaft de onderzoeker reeds het nodige inzicht in het probleem, daar de werking van het systeem hierdoor wordt aangeleerd. Verder kan het model gebruikt worden om bij gegeven invoer van het systeem, de uitvoer te kunnen berekenen of voorspellen.

4.3.2 Wanneer kan simulatie worden toegepast?

De keuze voor simulatie kan worden ingegeven doordat:

- * het systeem zo ingewikkeld is dat er met de gebruikelijke analytische methoden geen antwoorden of geen betrouwbare antwoorden zijn te verwachten
- * het systeem meerdere antwoorden als uitkomst kan hebben die bovendien nog een verschillende kans van voorkomen hebben
- * reële experimenten te lang of te kort duren, en kostbaar zijn
- * het om pilot-projecten gaat

De kracht van simulatie schuilt erin dat de factor tijd kan worden omzeild. Dit houdt in dat het gedrag van "real life" systemen over langere tijdsintervallen met behulp van een model en simulatie in enkele minuten is te overzien.

[De Ridder, Behesti; E1 dictaat, Systematisch ontwerpen]

4.3.3 Monte Carlo simulatie

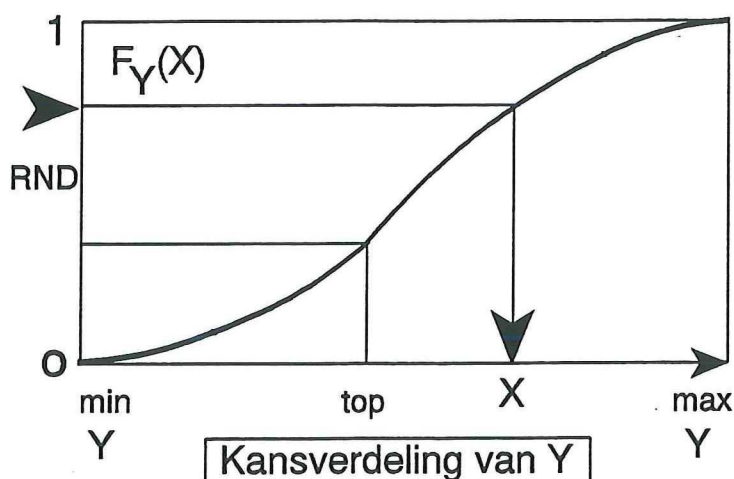
Monte Carlo simulatie, als onderdeel van het vakgebied simulatie, is een simulatietechniek waarbij het voor de componenten van een bepaald systeem mogelijk is de specifieke kenmerken op te nemen en te laten meetellen in een voorspelling van het gedrag van het totale systeem. Het essentiële verschil tussen Monte Carlo en andere simulatietechnieken is dat men bij Monte Carlo de tijd kan elimineren. Door eliminatie van het tijdsafhankelijk element zijn de componenten van het systeem (iedere variabele binnen het model) te beschrijven met hun kansdichtheidsfunctie (hierna kdf). Deze kansdichtheidsfuncties zijn bekend op basis van historische gegevens, of kunnen worden ingeschat.

(zie 3.7, Inschatten van onzekerheden)

Het principe van de Monte Carlo simulatie berust op het, in overeenstemming met de kansverdeling, toevalsafhankelijk (stochastisch) bepalen van waarden voor een bepaalde variabele. Voor alle variabelen wordt op deze manier een waarde bepaald. Met deze waarden wordt een raming voor het systeem opgesteld. Het trekken van nieuwe waarden voor de variabelen en het opnieuw ramen van het systeem wordt vele malen herhaald. Gebruikelijk is het om tussen de 1000 en 10.000 ramingen te plegen voor het systeem. De resultaten van deze ramingen kunnen statistisch worden bewerkt. Hieruit kunnen onder andere het gemiddelde, de standaard afwijking en verschillende klassen van uitkomsten worden afgeleid. Door het aantal ramingen in elke klasse uit te zetten tegen de grootte van elke klasse, kan ook een visuele indruk verkregen worden van de vorm van de kansdichtheidsfunctie van "de raming". Sommatie van het aantal ramingen in de klassen kleiner dan een bepaalde klasse levert een inzicht in de vorm van de kansverdeling van het systeem.

Het trekken van een willekeurige waarde, die in overeenstemming is met de kansverdeling van de variabele, gebeurt meestal met behulp van een "random number generator". Deze random generator is op de meeste computers standaard aanwezig en geeft de mogelijkheid om uit een groot aantal getallen ($\pm 2 \cdot 10^9$, afhankelijk van het type computer), tussen nul en een maximaal integer getal, een volstrekt willekeurige getalswaarde te trekken. Door deze waarde te schalen aan het maximale integer getal van die generator wordt een set getallen van nul (theoretisch mogelijk) tot één gecreëerd. Deze reeks kan gebruikt worden om voor iedere willekeurige verdeling een bepaalde waarde voor een variabele te trekken. Het moge duidelijk zijn dat de naam Monte Carlo, welke afkomstig is van het roulettespel, volkomen op zijn plaats is, nagelaten dat het roulettespel slechts een beperkt aantal mogelijke trekkingen (42) kan genereren.

Bij een gegeven kansverdeling van een stochast Y , ligt de kanswaarde voor onderschrijding van een waarde X , altijd tussen nul en één. Het is nu mogelijk het rekenproces om te keren. De random number generator trekt een waarde tussen nul en één en bepaalt de waarde van X , waarvoor geldt dat de stochast Y die waarde van zijn kansverdeling niet overschrijdt.



Figuur 4.2 Het trekken van willekeurige waarden voor de stochastische grootheid Y .
[Vrijling, Spelen met kansen]

4.4 Berekenen van de uitvoeringsduur

In deze paragraaf zal worden uiteengezet hoe de fase van uitvoering is gevat in een rekenmodel dat geschikt is voor simulatie volgens de Monte Carlo techniek.

Bij de modellering en programmering is uitgegaan van het "Bottom-up" principe: de exacte benadering combineert de kansverdelingen van de afzonderlijke activiteiten tot de totale tijdsduur van de uitvoering getypeerd door zijn eigen kansverdeling.

Voor gebruik wordt aangeraden de programmatuur "Top-down" toe te passen: d.w.z. de planning in zijn totaliteit analyseren en vervolgens de aangetoonde zwakke planonderdelen verbeteren.

(zie bijlage 2, Handleiding PROBABILISTIC TIME-ESTIMATOR)

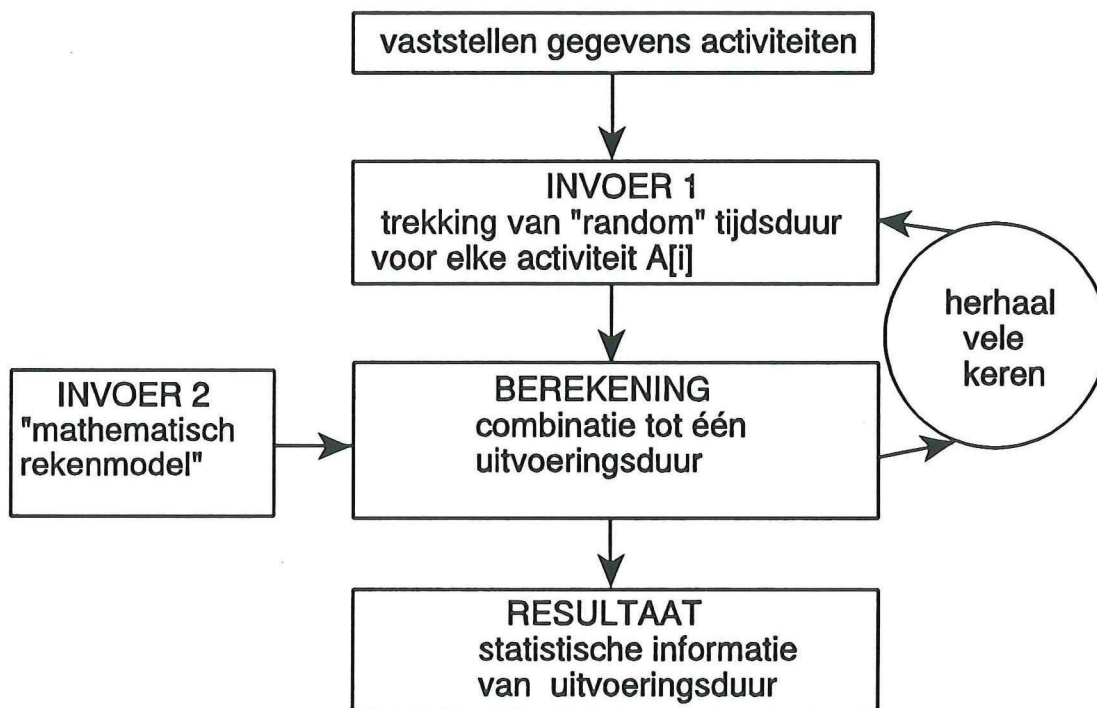
4.4.1 De opbouw van het simulatie-model

Dit kwantitatieve risico-analyse rekenmodel is geheel opgebouwd volgens het principe van de Monte Carlo simulatie-techniek. Als systeem is de fase van realisatie van een willekeurig GWW-project gekozen. De activiteiten die samen de uitvoeringsduur bepalen zijn de componenten van het systeem die elk hun eigen specifieke kenmerken bezitten. Merk op dat de samenhang van de activiteiten wordt bepaald door verschillende typen relaties.

(zie 2.5, De tijdsplanning als rekenmodel)

Als raming voor de uitvoeringsduur is dat deel van de planning gebruikt dat de relaties tussen de verschillende deelactiviteiten beschrijft, het mathematisch rekenmodel (INVOER 2).

(systems reliability, zie 3.2 Risico-analyse)



Figuur 4.3 Schematisch overzicht van het kwantitatieve risico-analyse rekenmodel

4.4.2 De activiteiten als inputvariabelen (structural reliability, zie 3.2 Risico-analyse)

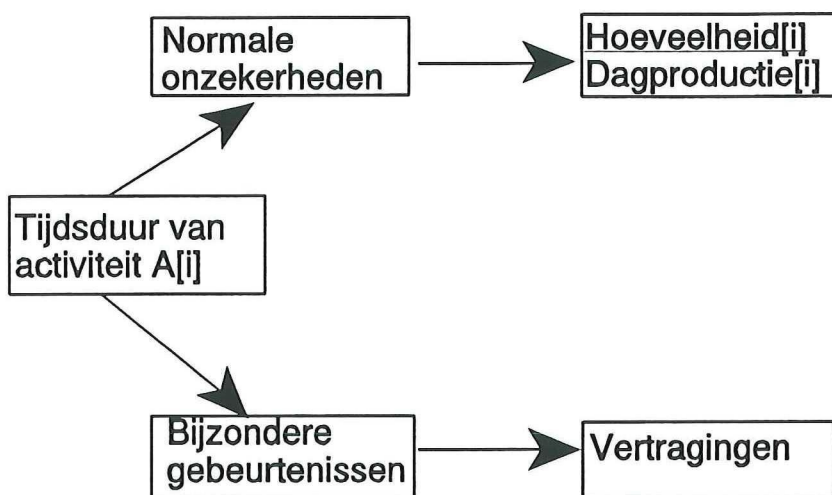
Voor het opstellen van een goed uitvoeringsschema moeten de gegevens per activiteit bekend zijn of worden. Verder in deze studie wordt op de incompleetheid van gegevens ingegaan. Deze gegevens kunnen bekend zijn van meet- of ontwerpgegevens. Een andere mogelijkheid is dat er kengetallen van verscheidene aard bekend zijn of dat de gegevens worden ingeschat.

(zie 3.7, *Inschatten van onzekerheden*)

Er zijn twee typen onzekerheden van belang bij het vaststellen van de gegevens van de activiteiten, te weten:

- * de normale onzekerheden oftewel de continue risico's
- * de bijzondere gebeurtenissen oftewel de discrete risico's

Voor iedere activiteit zullen de volgende gegevens bekend moeten worden, aan de hand van metingen, ervaringsgetallen of schattingen. Zowel de normale onzekerheden als de bijzondere gebeurtenissen worden hierna toegelicht.



Figuur 4.4 De risico-bronnen per activiteit A_i : HOEVEELHEID te verwerken materiaal (H_i), (dag)PRODUKTIE (P_i) en de relevante, mogelijk optredende bijzondere gebeurtenissen.

Uit de grootheden HOEVEELHEID (H_i) en DAGPRODUKTIE (D_i), beide continue stochastische variabelen, zal iedere keer een representatieve waarde worden geloot voor de duur van activiteit A_i . Ook uit de discrete verdelingen, representatief voor de bijzondere gebeurtenissen, worden er steeds wel of geen vertragingen geloot. Op deze manier wordt voor iedere activiteit A_i , per simulatie-lus, steeds opnieuw een tijdsduur uit de normale onzekerheden als een tijdsduur voor de bijzondere gebeurtenissen bepaald, die gecombineerd één doorlooptijd voor activiteit A_i vormen (INVOER 1). De waarden voor de continue en discontinuë tijdsduren worden uiteraard steeds bepaald uit de eerder opgegeven continue en discontinuë kansverdelingen.

De minimale doorlooptijd van een activiteit treedt op als de dagproductie meezit, de hoeveelheid te verwerken materiaal minder is dan verwacht en er geen bijzondere gebeurtenissen optreden. De maximale uitvoeringsduur van een activiteit daarentegen zal optreden als de dagproductie tegenzit, de hoeveelheid materiaal meer is dan was aangenomen en er een combinatie van (alle) ongewenste bijzondere gebeurtenissen optreedt. Hiertussen is een scala van mogelijke uitkomsten voor de doorlooptijd van een bepaalde activiteit.

4.4.2.1 De normale onzekerheden

De normale onzekerheden zijn te ondervangen met het continue model (zie 3.7.4). Hoewel het bestek, in meer of mindere mate, vastligt en de hoge mate van abstractie rond de projectinhoud afneemt, blijven er meerdere onzekerheden in het spel. Deze onzekerheden zijn niet altijd even eenvoudig expliciet en kwantitatief aan te geven, maar ze bestaan. In het verdere verloop van het project worden het aantal en de omvang van de onzekerheden steeds kleiner maar ze blijven wel degelijk bestaan. De normale onzekerheden kunnen voorgesteld worden als waarden van een grootheid die qua orde grootte bekend zijn, maar niet qua absolute waarde. In feite kan er gesproken worden over een bepaalde verwachtingswaarde met daar omheen een typerende spreiding van andere mogelijke uitkomsten. Hoe groter de bandbreedte waarbinnen de verwachte waarden liggen hoe groter de onzekerheid van het tijds-risico voor die grootheid.

Om de gedachtengang te stimuleren kan de verwachte uitvoeringsduur als functie van de normale onzekerheden in de volgende grootheden worden voorgesteld:

$$\text{Continue duur activiteit } A_i = \frac{\text{Hoeveelheid } (H_i)}{\text{Dagproductie } (D_i)} \quad (4.1)$$

Dit is uiteraard een versimpeling van de werkelijkheid aangezien er in de praktijk zowel aanloop- als afbouwverliezen optreden.

De HOEVEELHEDEN materiaal (H_i) en de DAGPRODUKTIE (D_i) zijn bronnen van onzekerheid die als continue stochastische variabelen zijn op te vatten; de grootte van deze normale onzekerheden worden door toeval bepaald. Mathematisch zijn deze grootheden door middel van hun kansdichtheidsfunctie weer te geven.

* De hoeveelheden materiaal (H_i)

Bij GWW-projecten zijn de hoeveelheden materiaal die verwerkt moeten worden aanzienlijk. De meeste van deze projecten kunnen dan ook getypeerd worden met de term "massa-projecten". De miljoenen kubieke meters zand die ontgraven moeten worden bij de aanleg van een kanaal, het vaak ongelijkmatig wegfreen van enkele centimeters asfalt over een oppervlak van enkele tienduizenden vierkante meters bij renovatie van snelwegen of startbanen, het aanbrengen van tonnen asfalt, aanbrengen van tientallen kilometers belijning, storten van ettelijke honderdduizenden kubieke meters beton voor platforms, zijn enkele voorbeelden die illustreren hoe gevoelig de doorlooptijden van de verschillende activiteiten zijn voor hoeveelhedsfluctuaties.

In dit rijtje passen misschien ook zaken als zettingen, verdichtingen en testprocedures die als onzekere tijdsfactoren zijn te onderkennen en welke al gauw variaties van 10% of meer in uitvoeringsduur kunnen veroorzaken.

[Vrijling, Spelen met kansen]

* **De dagproductie (D_i)**

De dagproductie valt in dit rekenmodel uiteen in twee continue stochasten, te weten:

- * de produktiviteit van een ploeg, machine of produktiemiddel ($\text{Produktiviteit}_{\text{ploeg}}$)
- * een werkcoëfficiënt F_{prod}

De dagproductie is voor te stellen als de hoeveelheid werk die op één werkbare werkdag kan worden verzet.

$$\text{Dagproductie } (D_i) = F_{\text{prod}} * \text{Produktiviteit}_{\text{ploeg}} \quad (4.2)$$

De produktiviteit per eenheid produktiemiddel ($\text{Produktiviteit}_{\text{ploeg}}$), de standaardproductie per 8-urige arbeidsperiode is onder meer afhankelijk van de samenstelling van de ploeg, de gebruikte typen en staat van de machines. Deze produktiviteit wordt dan ook gekenmerkt door zijn eigen statistische waarschijnlijkheidsverdeling.

De werkcoëfficiënt F_{prod} bestaat uit meerdere componenten. Het is voor te stellen als het produkt van diverse invloedsfactoren die de dagproductie beïnvloeden. De werkcoëfficiënt F_{prod} is voor te stellen als:

$$F_{\text{prod}} = F_i * F_w * F_d * F_g \quad (4.3)$$

In het kort zullen behandeld worden :

- * de inzet aan personeel en materieel (F_i)
- * de klimatologische omstandigheden (F_w)
- * de duur van de arbeidstijd (F_d)
- * het type te verwerken grondstof (F_g)

* **de inzet aan personeel en materieel (F_i)**

De inzet aan personeel en materieel heeft directe invloed op de beschikbare produktiecapaciteit. Verdubbeling van inzet levert echter lang niet altijd een evenredige verhoging van de produktie op. Door zaken als overdracht, afstemming en coördinatie ontstaat er inefficiëntie op de werkvloer. Dit resulteert in het afnemen van de produktiviteit en uiteindelijk tot een daling van de uiteindelijke dagproductie.

Ook kan het werken met (meer dan drie) "shifts" leiden tot kwaliteitsverlies, kostenverhoging, coördinatie- en motivatie problemen. Wegens praktische redenen als veiligheid, organisatie en overzicht is de inzet vaak aan een maximum gebonden.

* **de klimatologische omstandigheden (F_w)**

Deze onzekerheid wordt bepaald door de "normale" weersomstandigheden van de betreffende periode waarin de activiteit moet worden uitgevoerd. Deze weersomstandigheden bepalen of specifieke werkzaamheden zoals asfalteren en belijnen wel of niet (goed) kunnen worden uitgevoerd.

In dit model is gekozen om de "normale" klimatologische factoren (de verwachting van het weer over een langere periode bezien) te koppelen aan de specifieke activiteit. Immers niet iedere activiteit is even gevoelig voor bepaalde weersomstandigheden. Een andere mogelijkheid is om de factor F_w aan de loop van het kalenderjaar op te hangen. De factor F_w is simpel te bepalen als het quotiënt van het aantal verwachte

werkbare werkdagen en het standaard aantal beschikbare werkdagen voor die specifieke periode statistisch bezien. Onder andere Misset en vrijwel alle aannemers hebben hier goede schattingen voor. Zo kan er voor de maanden maart en oktober, dit zijn maanden met een hoge neerslag, bijvoorbeeld een F_w van 0.8 worden aangehouden als het gaat om de activiteiten asfalteren en belijnen.

* **de duur van de arbeidstijd (F_d)**

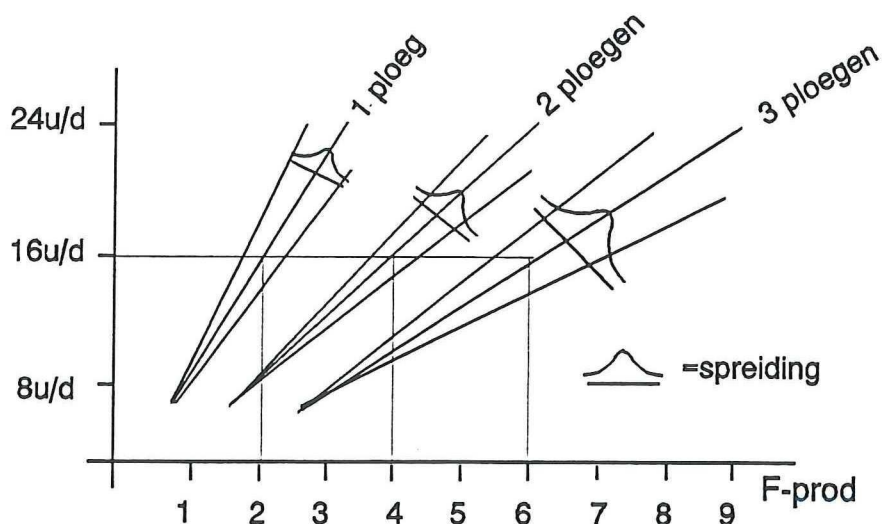
Meerdere ploegen kunnen per etmaal na elkaar worden ingezet, waardoor de productie-tijd van 8 tot 24 uur, of alles hiertussen in, toeneemt. Te denken valt aan 2 asfalteploegen die in shifts werken. Zo zou in de lente of zomer de eerste van 5.00 uur tot 13.00 uur en de tweede van 13.00 uur tot 21.00 uur kunnen werken, waardoor er optimaal van het daglicht gebruik wordt gemaakt.

Voor werken die 's nachts worden uitgevoerd, moet rekening worden gehouden met een extra coëfficiënt (van inefficiëntie) F_n , van bijvoorbeeld 0.75 (ervaringsgetal gebruikt op de luchthaven Schiphol).

* **het type te verwerken grondstof (F_g)**

Ieder type grondstof heeft zijn eigen kenmerken. Er is tijd nodig voor het optreden van zettingen, het afkoelen van asfalt, het verharden van beton, etc. Ook kunnen sommige typen materiaal moeilijker worden afgegraven, verdicht en verwerkt.

Hieronder volgt een indicatie voor het gebruik van de werkcoëfficiënt F_{prod} zoals die dagelijks gebruikt wordt voor projecten op de luchthaven Schiphol. In beginsel is de werkcoëfficiënt F_{prod} lineair met verhoging van de inzet en arbeidsduur, maar naarmate er meer ploegen worden ingezet of er langer dan 8 uur per dag wordt gewerkt treedt er steeds meer inefficiëntie op; "de wet van de afnemende meeropbrengst". In feite is de factor F_{prod} daarom eveneens een parameter die aan fluctuaties onderhevig is (stochast).



Figuur 4.5 De factor F_{prod} gerelateerd aan aantal ingezette ploegen en arbeidstijd per dag. Merk op dat er voor de uiteindelijke F_{prod} nog met een factor F_w , F_n en F_g moet worden vermenigvuldigd daar waar nodig.

Per activiteit A, kunnen de grootheden HOEVEELHEID (H_i), PRODUCTIVITEIT (P_i) en WERKCOEFFICIËNT (F_{prod}) als continue stochastische variabelen worden opgevat en beschreven met hun typerende kansverdeling.

Met behulp van een random number generator wordt iedere keer een waarde voor deze grootheden getrokken waarmee een tijdsduur, de continue tijdsbijdrage in de doorlooptijd, voor die bepaalde activiteit A_i wordt bepaald met inachtneming van de relevante spreidingen van de afzonderlijke variabelen.

Wegens behoud van het overzicht is in de programmatuur de werkcoëfficiënt (F_{prod}) deterministisch gekozen. De mogelijkheid is echter wel degelijk opgenomen om deze factor eveneens als stochast mee te nemen in de raming van de uitvoeringsduur. Om de stochasten HOEVEELHEID (H_i) en PRODUCTIVITEIT (P_i) in continue stochastische variabelen te ondervangen zijn in de ontwikkelde programmatuur PROBABILISTIC TIME-ESTIMATOR de volgende typen continue verdelingen opgenomen, te weten:

- * de normale verdeling
- * de driehoeksverdeling

* **de normale verdeling**

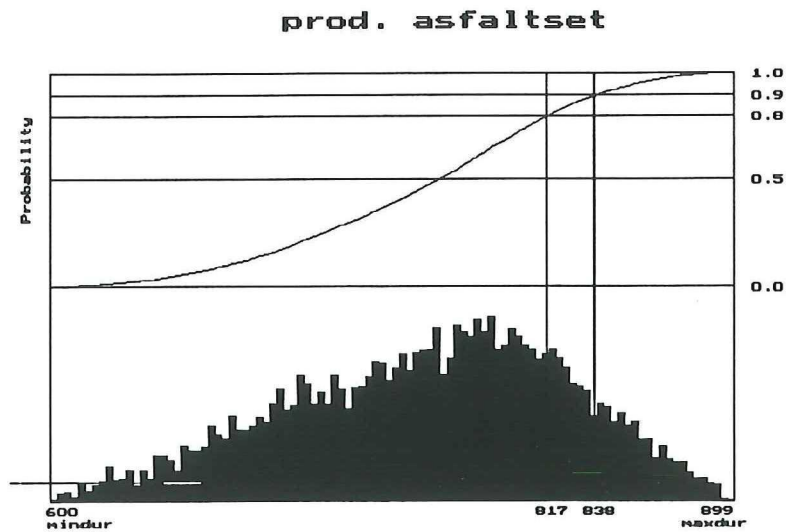
deze is reeds behandeld in paragraaf 3.7.4 (zie figuur 3.2). Input zijn een verwachte gemiddelde waarde (μ) en een bijbehorende standaardafwijking (σ). Dit type verdeling is geschikt voor gegevens waar veel over bekend is. Bijvoorbeeld voor het inschatten van de produktie van een graafmachine: $\mu = 550 \text{ m}^3$ per dag en $\sigma = 50 \text{ m}^3$ per dag. Uiteraard dient de kansdichtheidsfunctie van de waarnemingen globaal te corresponderen met de vorm van de kansverdeling.

* **de driehoeksverdeling**

deze gaat uit van drie op te geven waarden zijnde het minimum, de modale waarde (de meest waarschijnlijke waarde) en het maximum voor een stochast. Voor de praktijk blijkt dit type verdeling een perfect instrument te zijn, waarmee heel goed en eenvoudig schattingen zijn te maken van zowel hoeveelheden als produkties. Hoe verder het minimum en het maximum uit elkaar liggen, hoe groter de onzekerheid (spreiding) van de stochast.

Bij het inschatten van hoeveelheden is het verstandig om de top van de driehoek (de meest waarschijnlijke waarde) over het algemeen meer naar links tegen het minimum aan te leggen; het is waarschijnlijker dat het verschil tussen de tegenvallende hoeveelheid en de verwachte hoeveelheid groter zal zijn dan het verschil tussen de meevallende hoeveelheid en de verwachte hoeveelheid. Voor het inschatten van produkties is het reëler om de top van de driehoek meer naar rechts tegen de maximale produktie aan te kiezen; het is niet zo waarschijnlijk dat de meevallende produktie veel groter zal zijn dan de normale produktie.

Merk op dat de oppervlakte onder de kansdichtheidsfunctie altijd 100% (1) is. Door integratie over de klassen van de kansdichtheidsfunctie wordt de kansverdelingsfunctie van de betreffende stochast gegenereerd. Een hoge richtings-coëfficiënt van de kansverdelingsfunctie (daar waar de verdelingslijn stijl omhoog loopt) geeft de plaats aan waar de kansdichtheden van onderliggende klassen hoog zijn. Voor de top waarde van de driehoek (de modus) is de kansdichtheidsfunctie maximaal.



Figuur 4.6 *Inschatting produktiviteit asfaltset m.b.v. de driehoeksverdeling. Input: minimum 600 ton, modaal 800 ton en maximaal 900 ton bij een 8-urige werkdag.*

De ontwikkelde programmatuur (PROBABILISTIC TIME-ESTIMATOR, hierna PTE) kan op eenvoudige wijze worden uitgebreid met modules voor andere typen continue verdelingen.

4.4.2.2 Bijzondere gebeurtenissen

Tijdens de realisatie-fase van een project kunnen één of meerdere bijzondere gebeurtenissen optreden, die al dan niet voorzien waren. Hierdoor zal een verstoring of afwijking van de gehoopte of geplande uitvoeringsduur teweeg worden gebracht. Het is zeker niet de bedoeling en ook niet erg waarschijnlijk dat zulke gebeurtenissen optreden. Toch kan zich in de praktijk een dergelijk geval voordoen. Typerend voor deze gebeurtenissen is dat ze vaak maar een zeer kleine kans van optreden hebben met grote gevolgen in tijd en kosten. Bij kosten moet gedacht worden aan het herstellen van opgetreden materiële schade, het betalen van schadeclaims aan opdrachtgever of derden en aan meer-kosten die gevolg zijn van de verhoging van de inzet met als doel om te proberen toch de afgesproken opleverdatum te halen.

Merk op dat schadevergoedingen in geld in de regel tamelijk goed kunnen worden afgedekt door middel van verzekeringen. De verloren tijd wordt hiermee echter niet altijd goedgemaakt. Ook bestaat de mogelijkheid dat door ontstane uitloop steeds meer vervolgcclaims kunnen worden ingediend.

Op de hedendaagse manier van plannen wordt er in feite geen ruimte opgenomen voor deze onvoorziene gebeurtenissen. Bij *contingency-planning* gebeurt dit wel. Mocht één van deze gebeurtenissen toch optreden en wordt het project alsnog op de afgesproken tijd opgeleverd, dan is dit meestal het gevolg van het meevallen van de doorlooptijd van andere activiteiten of het "extra gas" geven of zorgvuldiger bewaken door de aannemer van de resterende activiteiten.

Voorbeelden van onverwachte gebeurtenissen tijdens uitvoering zijn:

- * Fouten of incompleetheid in\van de voorbereidingsfase (tekeningen, bestek, maatvoering, kaartmateriaal, ontwerpfouten, etc.)
- * Het aantreffen van vervuilde grond welke gesaneerd moet worden
- * Het aantreffen van een bom bij grondwerk (op Schiphol)
- * Niet nakomen van afspraken door onderaannemers of leveranciers
- * Defect van een specifieke, moeilijk vervangbare, unieke machine
- * Verkeerd ingestelde machines
- * Stakingen van personeel
- * Sabotage en diefstal
- * Extreem slecht weer resulterend in een overstroming, etc.
- * Calamiteiten als bedrijfsongevallen, instortingen, etc.
- * Slechte kwaliteit door.....met als gevolg overdoen van.....

De bijzondere gebeurtenissen laten zich modelleren met behulp van het **discrete model**. Voor al deze onzekerheden en andere niet genoemde gevallen zal een grootte van de kans en het gevolg moeten worden vastgesteld op basis van historische gegevens of schattingen van betrokken partijen.

(zie 3.7.4, Inschatten van onzekerheden)

Ook zal voor al deze onzekerheden de risico-drager moeten worden aangewezen zijnde de opdrachtgever, aannemer, derden, overmacht, etc. In het kader van de risico-berekening wordt hier niet verder op ingegaan.

Het criterium om deze bijzondere gebeurtenissen toch in de planning op te nemen blijkt vaak te worden afgemeten aan het risico: kans maal gevolg. Bij zeer kleine kansen en grote gevolgen zal er niet snel worden overgegaan tot het ondernemen van actie. Na de risico-vaststelling zijn immers alleen die risico's over waarvan men denkt dat die daadwerkelijk van invloed kunnen zijn op de voortgang van de uitvoering.

Per simulatie-lus zal de programmatuur PTE, per activiteit A_i voor alle opgegeven discrete risico's een trekking doen uit de opgegeven kansverdelingen. De grootste uitloop in tijd is te verwachten als voor alle discrete risico's een waarde uit de kansverdeling wordt getrokken die correspondeert met vertraging. Bij geen uitloop in tijd, heeft de random generator voor alle discrete risico's een waarde getrokken die correspondeert met geen vertraging. Hiertussen zijn talrijke combinaties van alle opgegeven discrete risico's mogelijk.

(zie 3.7.4, Kansdichtheid- en kansverdelingsfunctie)

De gevonden uitloop, ten gevolge van het optreden van de diverse discrete risico's, wordt samen met de eerder vastgestelde "continue tijdsduur (zie 4.4.2.1)", per simulatie-lus, per activiteit tot een doorlooptijd van die activiteit samengesteld.

4.4.3 De risico-berekening

Het vaststellen van de relaties tussen de activiteiten is in het hoofdstuk planning al uitvoerig behandeld (zie 2.5, *De tijdsplanning als rekenmodel*). Bestudeerd wordt hoe de afzonderlijke stochastische waarden van de activiteiten in dit simulatie-model gecombineerd kunnen worden tot de uitvoeringsduur van het project. De onderlinge relaties tussen de activiteiten vormen een aantal paden waarlangs de maximale uitvoeringsduur kan worden bepaald. Het probleem van het vaststellen kan worden

herleid tot de bepaling van de kdf van de einddatum van het project. Deze datum wordt steeds bepaald door het langste "kritieke" pad; duur project = $\max[P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n]$.

* **Paden**

Een pad bestaat uit een aantal activiteiten die onderling, chronologisch in tijd en uitvoerings-volgorde, zijn gekoppeld. De minimale duur van een pad treedt op als de uitvoering van alle activiteiten gelegen op dit pad geheel naar wens verloopt; dus als de doorlooptijden allen op zich minimaal zijn. De maximale duur van een pad zal daarentegen optreden als alle activiteiten qua uitvoeringsduur op zich tegenzitten. Hiertussen is er, per pad, een scala van mogelijke uitkomsten voor de tijdsduur van dat pad. Ieder pad wordt op deze wijze gekenmerkt door zijn eigen kansverdeling.

De duur van een pad wordt bepaald als de som van de kritieke deel-duren van de activiteiten A_i gelegen op dat pad. De kritieke deel-duur van een activiteit A_i aan een pad P_j is een functie van de (stochastische) doorlooptijd van die activiteit A_i en de relatie rf_i met zijn opvolger A_{i+j+1} .

Een pad is meestal te herkennen als deelproject van de uitvoering. In de GWW-sector is het niet ongebruikelijk om het project op te delen in meerdere, parallelle in uitvoering zijnde, deelprojecten. Voorbeelden hiervan zijn renovaties van wegdekken, verhardingswerken en ontgravingen die opgedeeld in segmenten, langs de lengteas van het project, worden uitgevoerd.

Dit zijn overigens niet de enigste paden binnen een project. Door organisatorische, operationele en technische afhankelijkheden kan het zijn dat een specifieke machine zowel in het ene als in het andere deelproject moet worden ingezet. Het uitlopen van de eerste activiteit waarin die ene specifieke machine wordt gebruikt zal in ieder geval tot een te late start de andere activiteit leiden en mogelijk tot vertraging van het volgende deelproject.

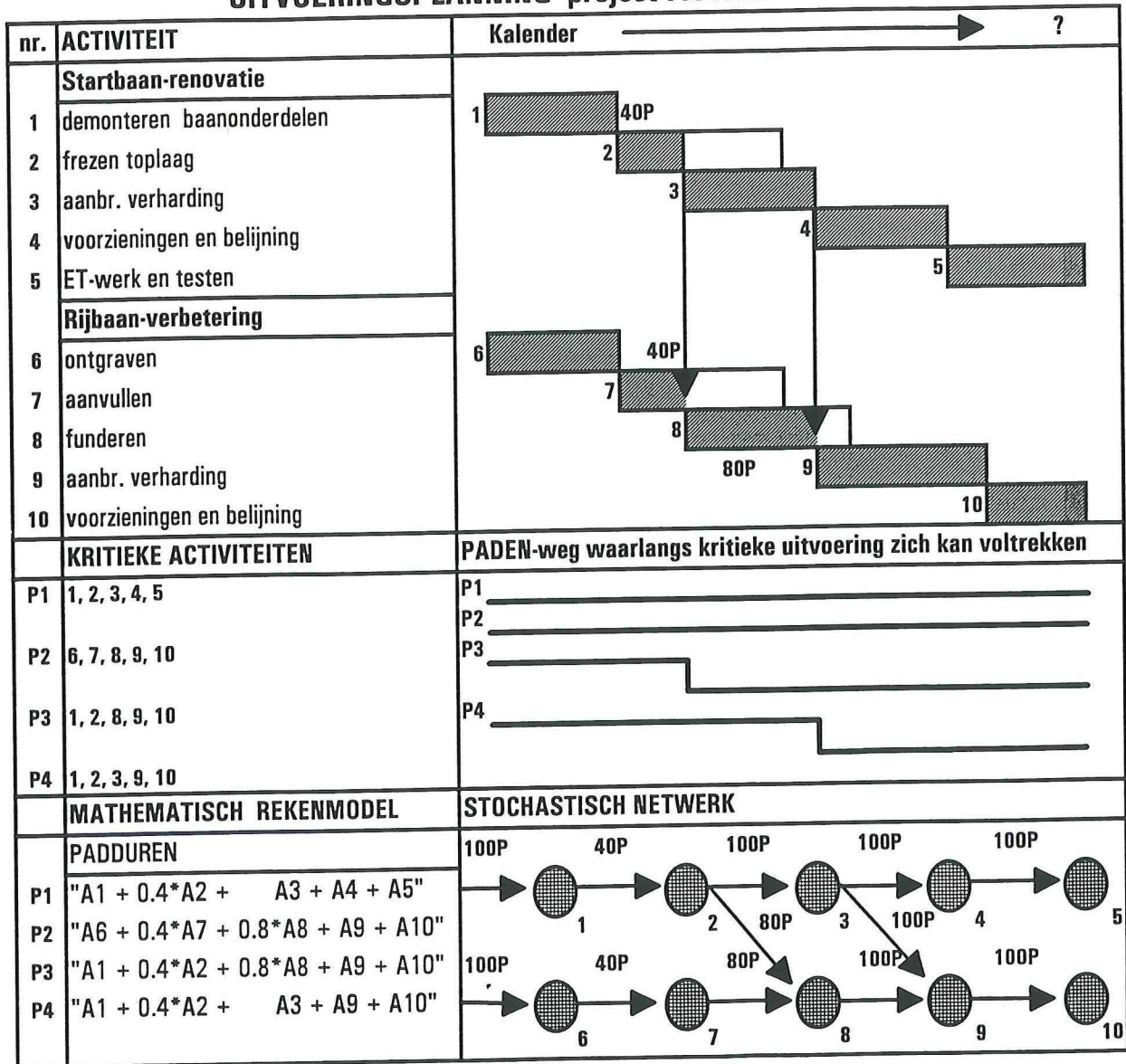
Concluderend kan worden gesteld dat er meerdere paden binnen de uitvoeringsduur kunnen worden herkend die de uitvoeringsduur kunnen bepalen.

* **Stochastisch netwerk**

Met behulp van de verschillende paden en de hierin opgenomen activiteiten kan een stochastisch netwerk worden opgezet waarbij de "traditionele tijds-balken" zijn vervangen door knopen en relatie-factoren. De knopen stellen de stochastische (niet deterministische) tijdsduur van een activiteit A_i voor. De sommatie-routen ofwel paden beschrijven de weg waarlangs en wijze waarop de kritieke deel-duren (de gearceerde gebieden) gesommeerd moeten worden van specifieke activiteiten (*zie figuur 4.7*).

De relatie-factor rf_i , de pijl, bepaalt welk kritieke deel-duur van de activiteit A_i in de tijdsduur van pad P_j moet worden gesommeerd. Men moet erop bedacht zijn dat een activiteit die op meerdere paden voorkomt, en dus meerdere relaties kan hebben, afhankelijk van deze relaties met de andere activiteiten, verschillende kritieke deel-duren kan leveren aan de verschillende paden. De relatie-factor rf_i , de pijl, is in het rekenmodel overigens deterministisch gekozen (dus als vaststaand). Wel kan aan de hand van de uitkomsten van de simulatie worden bepaald of deze relatie-factor gewijzigd moet worden.

UITVOERINGSPLANNING project FICTION



Figuur 4.7 Fictief project FICTION ter verduidelijking van de rekenmethode. Opbouw van de planning met 2 parallelle deelprojecten en 4 paden vertaald naar een stochastisch netwerk met knopen (activiteiten A_i) en pijlen (relatiefactoren r_i).

* **Risico aandeel per pad** (voor toepassing zie 4.6)
 De uitvoeringsduur is een functie van de paden zoals die tijdens de uitvoering voorkomen. De uitvoeringsduur wordt bepaald als het maximum van de paden $[P_1, P_2, P_3, P_4]$. Algemener:

$$\text{Kritieke duur project} = \max[P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n]. \tag{4.4}$$

Als de gewenste, geïdealiseerde uitvoeringsduur wordt voorgesteld als D , dan heeft ieder pad P_j een kans p_j , deze duur te overschrijden. Voor het geval dat het pad op tijd gereed is, dus voordat de duur D bereikt wordt, bedraagt de kans van overschrijding uiteraard nul. Het gehele project is alleen op tijd voltooid als alle paden op tijd voltooid zijn. Als de activiteiten en de paden binnen de uitvoeringsfase onafhankelijk worden verondersteld (zie ook 4.5.3) dan is de kans dat het project op tijd opgeleverd wordt:

$$(1-p_1)*(1-p_2)*(\dots)*(\dots)*(\dots)*(1-p_i)*(\dots)*(1-p_n) \quad (4.5)$$

Deze kans kan ook rechtstreeks uit de exacte kansdichtheidsfunctie van de einddatum worden afgelezen die met behulp van het ontwikkelde simulatie-programma PTE is berekend (zie figuur 4.8). Dit is mogelijk omdat het gebruikte simulatiemodel gebruik maakt van de kansdichtheidsfuncties van de verschillende activiteiten en hun onderlinge relaties (de inputvariabelen) en deze combineert tot de exacte kansdichtheid van de uitvoeringsduur.

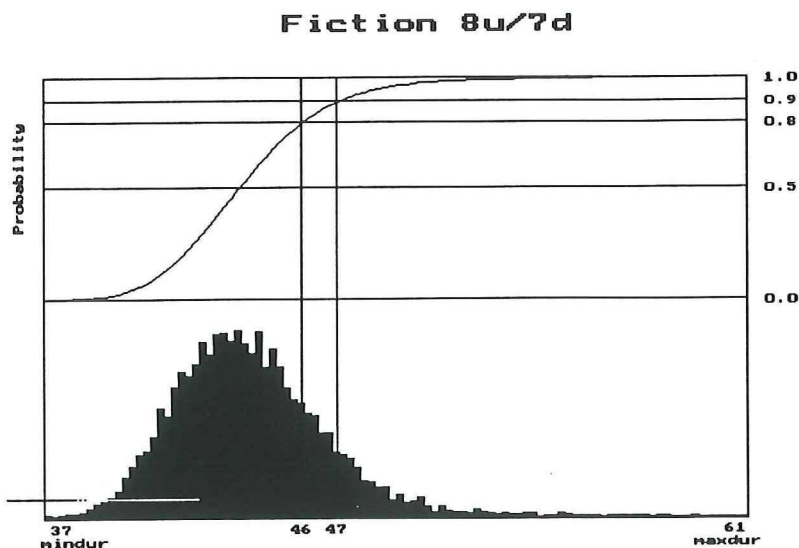
Bij iedere trekking van activiteit-doorlooptijden kan steeds een ander pad kritiek zijn.

Dit is het essentiële verschil tussen de huidige manier van deterministisch plannen en de probabilistische methode. Bij de probabilistische methode is immers ieder pad "kritiek". De kansen van optreden per pad zijn echter verschillend. Het "traditionele kritieke" pad van het project zal in dit rekenmodel waarschijnlijk het pad zijn dat door de samenstelling van activiteitswaarden en relaties de meeste keren maatgevend zal zijn en dus de grootste kans van voorkomen heeft.

Per simulatie-lus -lees: de berekening van één mogelijke uitvoeringsduur- worden voor alle activiteiten A_i steeds nieuwe representatieve waarden geloot. Vervolgens wordt aan de hand van de relatie-factoren voor ieder pad P_j de doorlooptijd berekend. Het maximum van de doorlooptijden P_j bepaalt steeds de kritieke uitvoeringsduur.

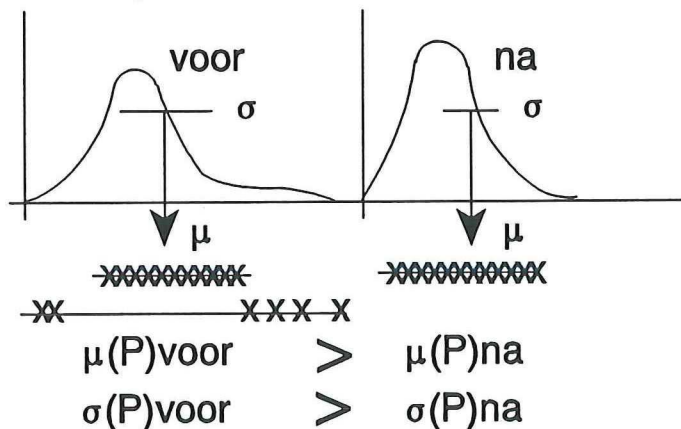
Het aantal keren dat een pad kritiek is wordt bijgehouden waardoor er aan het eind van de simulatie een indruk ontstaat van de grootte van de kans van optreden per pad P_j .

Ook wordt voor de actuele kritieke duur $D(P_j)$ berekend hoe ver deze van de gemiddelde duur $\langle D \rangle$ aflight, waardoor ook de mate van spreiding per pad P_j kan worden bijgehouden. De bandbreedte van de spreiding per pad P_j t.o.v. de bandbreedte van de spreiding van de gemiddelde uitvoeringsduur $\langle D \rangle$ bepaalt hoe verantwoordelijk het pad P_j voor de uiteindelijke spreiding van de duur $\langle D \rangle$ moet worden geacht.



Figuur 4.8 Resultaat: uitvoeringsduur van het fictief project gekoppeld aan kans van overschrijding en mate van uitloop. De kans dat de fase van uitvoering langer dan 46 dagen duurt (D80%) is 20 %.

Merk op dat over "waarschijnlijk" gesproken wordt omdat het pad dat de grootste kans van optreden heeft, niet hoofdverantwoordelijk hoeft te zijn voor het grootste aandeel in spreiding van de opleverdatum. Het kan namelijk zo zijn dat een ander pad dat slechts enkele keren maatgevend is, maar een dusdanig groot aandeel heeft in de projectvariantie, hoofdverantwoordelijk voor de spreiding en daarmee voor het tijd-risico moet worden geacht. Dit zal vooral het geval zijn wanneer de uitvoeringsduur van een activiteit uitschiet ten gevolge van bijzondere gebeurtenissen. In de regel zal dit niet het geval zijn. Wel leert dit geval, dat het effectief is om dat pad aan te pakken waarmee de maximale uitvoeringsduur wordt bereikt. Door het inkorten van deze maximale pad-duur wordt niet alleen de bandbreedte van de project-spreiding smaller maar neemt ook de gemiddelde uitvoeringsduur af.



Figuur 4.9 Effect van aanpakken pad met langste uitvoeringsduur.

* **Risico aandeel per activiteit** (voor toepassing zie 4.6)

Als het meest risico-volle pad is gedetecteerd, is het interessant te weten welke activiteiten op dit pad verantwoordelijk zijn voor het tijds-risico. De programmatuur stelt ons in staat ook inzicht in dit probleem te verkrijgen. Dit is bereikt door per pad P_j een veiligheidsfunctie Z_j op te stellen.

Deze veiligheidsfunctie kan worden omschreven als:

$$Z_j = D - (\sum [rf_i, A_i]) \quad \begin{array}{l} \text{met } i = 1, 2, \dots, n \text{ aantal activiteiten} \\ \text{met } j = 1, 2, \dots, m \text{ aantal paden} \end{array} \quad (4.6)$$

waarbij:

D	=	de vooropgestelde, gewenste uitvoeringsduur
rf_i	=	relatie-factor van activiteit A_i
A_i	=	stochastische duur van activiteit A_i
$\sum [rf_i, A_i]$	=	de som van de kritieke deel-duren A_i (zie figuur 4.7)

Volgens de regressie-analyse geldt:

$$\beta = \frac{\delta Z}{\delta A} = \frac{\text{cov}(A, Z)}{\sigma^2(A)} \quad (\text{relatie tussen 2 stochasten A en Z}) \quad (4.7)$$

$$\text{cov}(A, Z) = \frac{\delta Z}{\delta A} * \sigma^2(A) \quad (4.8)$$

De veiligheidsfunctie Z_j is uit te schrijven als:

$$Z_j = D - [rf_1 * A_1 + rf_2 * A_2 + C_3 + C_4 + rf_i * A_i + \dots + \dots + C_x + \dots + rf_n * A_n] \quad (4.9)$$

waarbij:

- * C_i de deterministische kritieke deel-duur voorstelt die voorgeschreven wordt door de relatie-factor rf_i (treedt op bij vaste overlappen bijv 5 dagen verhardingstijd)
- * $rf_i * A_i$ de kritieke stochastische deel-duur van activiteit A_i voorstelt (treedt op bij overlappen die in percentages worden voorgesteld)

Dientengevolge is:

$$\beta_i = -rf_i \text{ of } \beta_i = 0 \quad (\text{zie (4.7) en (4.9)}) \quad (4.10)$$

$$\alpha_i = \sigma A_i * \frac{\delta Z_j}{\delta A_i} = \frac{\text{cov}(A_i, Z_j)}{\sigma Z_j * \sigma A_i} \quad (4.11)$$

$$(\alpha_i)^2 = \frac{(rf_i)^2 * ((\sigma A_i)^2)^2}{\text{VAR}(Z_j) * \text{VAR}(A_i)} = \frac{(rf_i)^2 * \text{VAR}(A_i)}{\text{VAR}(Z_j)} \quad (4.12)$$

waarbij:

$(\alpha_i)^2$ het percentage risico-aandeel van activiteit A_i voorstelt in/op het betreffende pad Z_j .

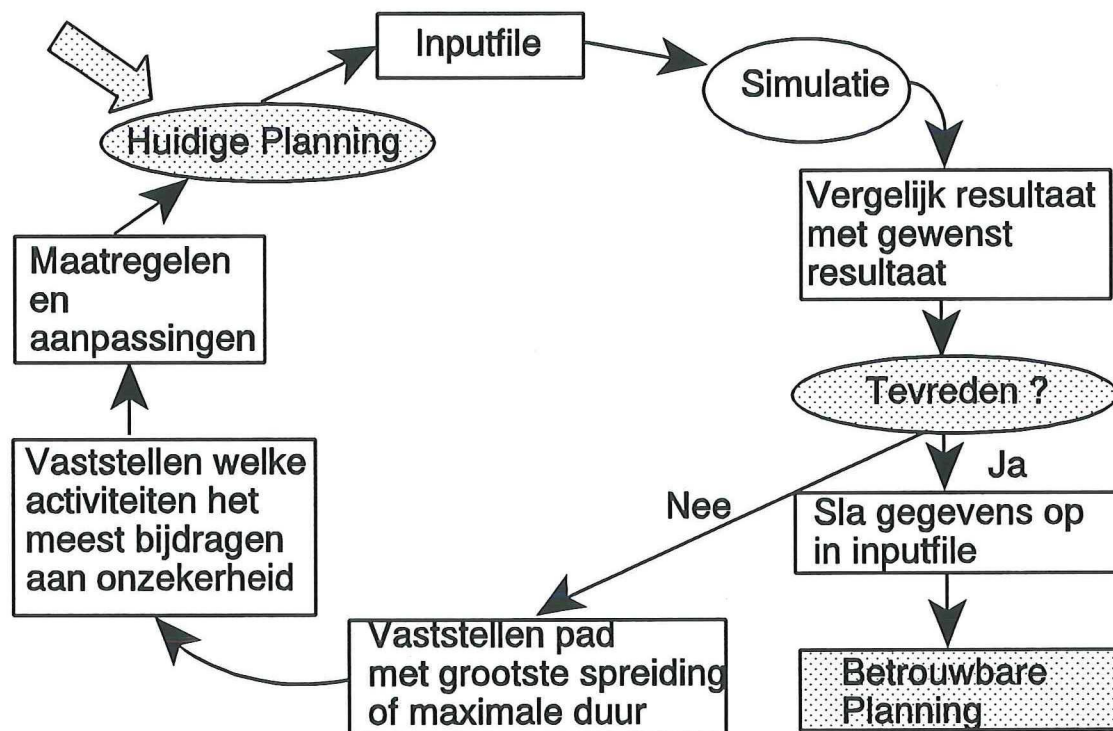
$\text{VAR}(Z_j)$ een normeringsconstante is en in principe de variantie $\sigma(Z_j)^2$ van de doorlooptijd van pad Z_j voorstelt.

4.5 Aandachtspunten

In de volgende paragrafen zal op enkele belangrijke aspecten ten aanzien van de berekening van tijd-risico's worden ingegaan. Dit zal gebeuren door eerst aan te geven wat de beste aanpak voor simulatie is. Vervolgens komt de beschouwing van het risico aan bod, de kwestie van afhankelijkheid en onafhankelijkheid en tenslotte risico-aversie en modelafwijking.

4.5.1 Het gebruik van de simulator PTE

Bij gebruik van de programmatuur PTE wordt geadviseerd het Top-Down principe te hanteren. Hiermee wordt bedoeld dat eerst het hele project gesimuleerd moet worden. Als bij de vooraf vastgestelde betrouwbaarheid de gewenste uitvoeringsduur D niet wordt gehaald, dan kan op zoek worden gegaan naar het pad dat het "meeste kritiek" is (zie figuur 4.10). Dit pad draagt immers het meeste bij aan de projectvarian-tie. Per pad, dus ook voor het "meest kritieke pad", is het mogelijk na te gaan wat de risico-aandelen van de verschillende activiteiten zijn. Hierdoor wordt bereikt dat die activiteit(en) kunnen worden aangepakt die het meest riskant zijn. Met aanpakken kan worden gedacht aan het verhogen van produktie en inzetfactor, beter inschatten van hoeveelheden, nader onderzoek naar bijzondere gebeurtenissen of een combinatie van deze maatregelen. Voor gebruik van de programmatuur wordt verwezen naar de handleiding die is opgenomen in *bijlage 2*.



Figuur 4.10 Regelkring voor optimalisatie van de planning (zie ook figuur 3.1)

4.5.2 Risico-beschouwing

Om een uitspraak over het verwachte risico te kunnen doen, is het nodig om of een uitvoeringsduur en/of een maat van betrouwbaarheid te kiezen. In *figuur 4.11* zijn de staarten van twee verschillende kansdichtheidsfuncties uitvergroot. Deze kansdichtheidsfuncties zijn ramingen van de uitvoeringsduur van twee niet identieke projecten. In beide gevallen bedraagt de uitvoeringsduur bij een gestelde betrouwbaarheid van 80% 60 dagen: dat wil zeggen dat uit de 10.000 uitgevoerde ramingen voor de uitvoeringsduur blijkt dat in beide gevallen 80% van deze berekende uren minder dan 60 dagen zal bedragen. Hierna wordt in dit voorbeeld de uitvoeringsduur van 60 dagen D80% genoemd.

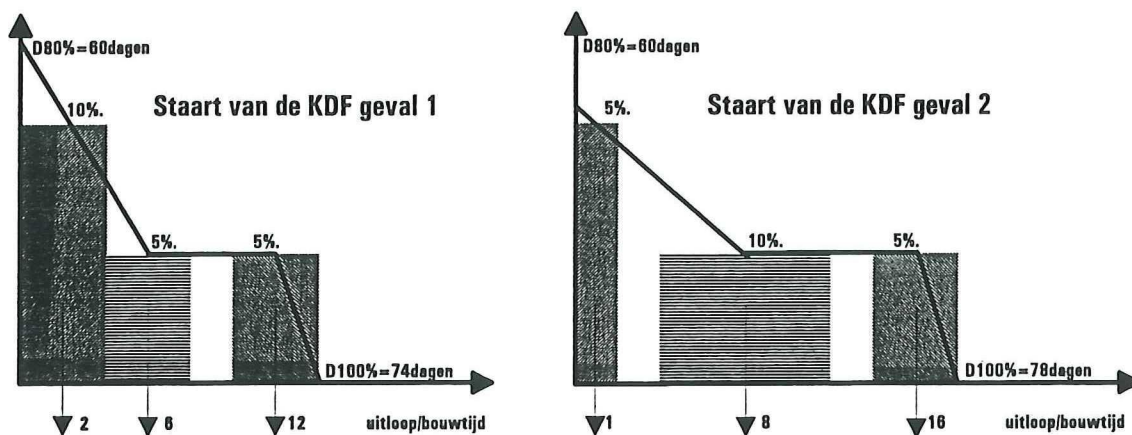
Alhoewel beide ramingen bij dezelfde betrouwbaarheid dezelfde uitvoeringsduur voorspellen zal het risico, de verwachtingswaarde van de uitloop, niet gelijk zijn aangezien de bijbehorende kansen en gevolgen op uitloop verschillend zijn.

Dit kan met behulp van de stelling der voorwaardelijke kansen worden berekend en wel als volgt;

$$P(A|B) = \frac{P(A,B)}{P(B)} \tag{4.13}$$

De stelling berekent de grootte van de kans op gebeurtenis A (mate van uitloop) gegeven dat gebeurtenis B optreedt (uitloop van de uitvoeringsduur). De verwachtingswaarde van het risico, in feite het gemiddelde van de uitloop, is te berekenen als:

$$E(\mu\text{-risico} | \text{duur} > D80\%) = \frac{\text{risico}}{\text{kans op vertraging}} = \frac{\sum [x * f(x) dx]}{\sum [f(x) dx]} \tag{4.14}$$



Figuur 4.11 Verschillende staarten, verschillende tijd-risico's

Voor de eenvoud van dit voorbeeld zijn er steeds maar drie klassen van uitloop aangegeven. Het samenvoegen van een aantal klassen van uitloop tot een nieuwe samengestelde klasse van uitloop is geen bezwaar als de kansen van uitloop ook aangepast worden. Met andere woorden; van de nieuwe klasse moet de gemiddelde uitloop als de gemiddelde kans op deze uitloop worden bepaald.

Geval 1

D80% = 60 dagen (betrouwbaarheidseis)
 D100% = 74 dagen (maximale duur uitvoering)

Risico

10% op 2 dagen = 0.20
 5% op 6 dagen = 0.30
5% op 12 dagen = 0.60
 Totaal 1.10

Het risico, de verwachtingswaarde van de uitloop, bedraagt in geval 1:

$$E(\mu\text{-risico} | \text{duur} > 60 \text{ dagen}) = (1.1/0.2) = 5.5 \text{ dagen.}$$

Geval 2

D80% = 60 dagen (betrouwbaarheidseis)
 D100% = 78 dagen (maximale duur uitvoering)

Risico

5% op 1 dag = 0.05
 10% op 8 dagen = 0.80
5% op 16 dagen = 0.80
 Totaal 1.65

Het risico, de verwachtingswaarde van de uitloop, bedraagt in geval 2:

$$E(\mu\text{-risico} | \text{duur} > 60 \text{ dagen}) = (1.65/0.2) = 8.25 \text{ dagen.}$$

Ondanks dat de twee berekeningen dezelfde uitvoeringsduur voorspellen bij D80% blijkt het risico, de verwachtingswaarde van de uitloop, in geval 2 groter te zijn dan in geval 1. De ligging van de waarnemingen (kansen en gevolgen) in de staart van de kansdichtheidsfunctie bepalen de spreiding en zo de verwachtingswaarde van de uitloop (het risico).

De opdrachtgever en/of aannemer kan aan de hand hiervan besluiten of er maatregelen nodig zijn om de spreiding rond de einddatum te verkleinen of dat hij een andere betrouwbaarheid eist teneinde het uitloop-*risico* te reduceren.

4.5.3 Afhankelijkheid en onafhankelijkheid

Voor de bepaling van de spreiding rond de totale uitvoeringstijd is de kwestie van onderlinge afhankelijkheid en onafhankelijkheid van activiteiten en paden van belang.

Bij volledige afhankelijkheid van activiteiten (en paden) zal het uitlopen van een activiteit A_i niet alleen leiden tot een verlate start van activiteit A_{i+j+1} (j staat voor een ander deelproject), maar ook tot een verlenging van die activiteit(en). De correlatie tussen de activiteiten is in dit geval puur positief c.q. negatief, afhankelijk van de beschouwing). Het meevallen van activiteit A_i qua uitvoeringsduur betekent dan ook dat alle andere activiteiten qua uitvoeringsduur zullen meevallen. Om de standaardafwijking van de totale uitvoeringsduur te bepalen moeten de standaardafwijkingen σ_i van de activiteiten A_i lineair bij elkaar worden opgeteld. Hierdoor is, als dit fenomeen zich voordoet, een brede spreiding rond de gewenste uitvoeringsdatum te verwachten.

Bij volledige onafhankelijkheid, dat wil zeggen dat het uitlopen van activiteit A_i niet samenhangt met de uitloop van activiteit A_{i+j+1} , zal de spreiding rond de einddatum veel smaller zijn. Dit komt omdat het uitlopen van de ene activiteit zou kunnen worden gecompenseerd door de andere(n). In dit geval moeten de standaardafwijkingen σ_i kwadratisch gesommeerd worden. De standaardafwijking van de planning is in dit geval de wortel uit de som der kwadraten σ_i der activiteiten A_i .

In de praktijk zal de werkelijke uitvoeringsduur tussen deze twee extremen liggen. Toch is het mogelijk na te gaan naar welke kant de werkelijke uitvoeringsduur het meeste tendeert. Er kan bij een groot aantal activiteiten gesteld worden dat er zoveel diverse invloeden gelden dat deze nooit allen dezelfde samenhang kunnen vertonen. De praktijk en het rekenmodel tenderen daarom het meest naar de situatie waarbij alle activiteiten onafhankelijk zijn (smallere spreiding ten opzichte van volledige afhankelijkheid). Toch kunnen er in de praktijk ook een aantal activiteiten afhankelijk zijn. Zo kan het zijn dat als er bij een bepaald werk meer ontgraven moet worden dan voorzien, er waarschijnlijk ook meer zand moet worden aangevuld dan was aangenomen.

In een volgend hoofdstuk zal bij de beschouwing over kosten nader worden ingegaan op de kwestie van afhankelijkheid en onafhankelijkheid.

4.5.4 Risico-aversie en modelafwijking

Als de kans van optreden van een bepaald risico gaandeweg groeit en de planner een benauwend gevoel krijgt besluit deze vaak een reservering op te nemen. Een apart geval doet zich in onderstaande situatie voor waarbij de risico's in twee gevallen even groot zijn maar de kansen en gevolgen verschillend.

Stel: situatie 1, kans 1 = 10% op gevolg 10.000
situatie 2, kans 2 = 1% op gevolg 100.000

Meestal wordt situatie 2 toch als riskanter ervaren terwijl het risico (1000) in beide gevallen even groot is. Dit wordt ook wel aangeduid met de term risico-aversie. Vaak is de grootte van het verwachte gevolg in verhouding tot de organisatie een drijfveer om het risico aan te pakken. Dit kan zowel door de grootte van de kans als het gevolg te verkleinen. Ook het afsluiten van een verzekering, het afstoten van de verantwoordelijkheid tegenover een premie, biedt vaak mogelijkheden. Hoewel de discrete risico's vaak door middel van één kans en één gevolg worden voorgesteld is dit geen bezwaar daar deze waarden moeten worden opgevat als de verwachtingswaarden.

Een ander effect doet zich voor als een aannemer, die merkt dat er in het begin van de uitvoering vertragingen zijn opgetreden de kans benut om de volgende activiteiten zorgvuldiger te bewaken dan wel deze versneld uit te voeren. Hiermee hoopt de aannemer de eerder verloren uitvoeringstijd te compenseren om toch "op schema" te blijven. In feite wordt hiermee de planning aangepast en kan er daarom uit oogpunt van simulatie gesproken worden over **modelafwijking**.

4.6 Een toepassing: Het project FICTION

Aan de hand van het project FICTION zal worden aangegeven hoe de rekenresultaten van het simulatie-programma PROBABILISTIC TIME-ESTIMATOR zijn te gebruiken bij de voorbereiding van de uitvoering. Andere beschrijvingen van het project FICTION zijn opgenomen in 2.4, *Intermezzo: Het project Fiction en bijlage 1*.

De planner van QC die is aangetrokken door de directie van luchthaven GATEWAY twijfelt aan de betrouwbaarheid van de huidige ingekorte uitvoeringsplanning van het project FICTION. Er zijn diverse onzekerheden waargenomen bij het opstellen van de planning. Deze onzekerheden zijn vastgesteld en beschreven in bijlage 1. Wegens de enorme belangen gemoeid met dit project wordt een hoge betrouwbaarheid van de tijdplanning verlangd (de eis is tenminste 80% zekerheid). Verder is zowel de luchthaven-directie als de aannemer geïnteresseerd in de mate van uitloop indien er toch vertraging mocht optreden. Tevens wil men weten welk pad "kritiek zal zijn" voor de uitvoering, welke activiteit(en) hoofdverantwoordelijk voor de vertragingen moet(en) worden geacht en wat de meest effectieve maatregel(en) is (zijn) die getroffen kan (kunnen) worden om het uitloop-risico te reduceren.

De betrokken partijen (de opdrachtgever Airport GATEWAY, de planner van QC en de aannemer GROUNDWORKS) hebben gezamenlijk de risico-bronnen opgespoord en de bijbehorende kansen en gevolgen van alle relevante discontinuë risico's vastgesteld. Ook de mogelijke fluctuaties in de hoeveelheden te verwerken materiaal en standaard-producties zijn per activiteit vastgesteld.

Voorbeeld vaststelling onzekerheden activiteit A6

Het ontgraven van een nieuw cunet voor de aangelegen rijbaan (activiteit A6).

Activiteit A6 houdt in: het verwijderen van de oude deklaag, huidige funderingslagen, puin en eventueel aanwezige slappe grond (± 80 cm diep ontgraven).

Inputgegevens A6 (vaststelling van de onzekerheden!)

type verd. HOEVEELHEID	: driehoeksverdeling, 2
minimum	: 100.000 m ³
modus	: 120.000 m ³ (meest waarschijnlijk)
maximum	: 150.000 m ³
F-prod	: 20 graafploegen, elk 150x50 m. in de lengte-as
type verd. PRODUCTIE	: normale verdeling, 1
gemiddelde	: 500 m ³
standaard afwijking	: 50 m ³
derde input getal	: 0 (van belang bij driehoeksverdeling)
# bijzondere gebeurtenissen	: #2 stuks
#1	kans 2% op uitloop 10 dagen t.g.v. aantreffen bom tijdens het ontgraven.
#2	kans 5% op uitloop 2 dagen t.g.v. aantreffen zeer slappe grond, waardoor extra maatregelen (planken, bemaling, etc.) nodig zijn voor het kunnen gebruiken van de graafmachines.

Voor alle andere activiteiten A1 tot en met A10 zijn de gegevens op soortgelijke wijze vastgesteld en vervolgens verwerkt tot een inputfile voor het simulatie-program-

ma PTE (zie bijlage 1). Na simulatie komt men tot het volgend overzicht: De opdrachtgever, in dit geval de luchthaven, en de aannemer zijn het er beide over eens dat, bij een aangenomen betrouwbaarheid van 80%, de uitvoeringsduur (dus de planning) maximaal 46 kalenderdagen mag bedragen. Voor de kansdichtheidsfunctie van de uitvoeringsduur van het project FICTION wordt verwezen naar *figuur 4.8*.

Bij te late oplevering verwacht de luchthaven 200 vliegtuigbewegingen * 5.000 gulden per afhandeling = 1.000.000 gulden per dag aan directe inkomsten mis te lopen. Hierom heeft de opdrachtgever met de aannemer kunnen afspreken dat voor iedere dag dat er te laat opgeleverd wordt, een boete van 1.000.000,- gulden zal moeten worden betaald ter compensatie van gedorven inkomsten. In het contract afgesloten met de aannemer is verder opgenomen dat als deze tijdens het ontgraven (A6) een bom(men) aantreft, zowel de kosten voor het verwijderen van de bom als de schade ten gevolge van de uitloop onder de verantwoordelijkheid van de opdrachtgever vallen. Overige materiaal- en constructiefouten vallen in dit voorbeeld onder de verantwoordelijkheid van de aannemer.

Zowel de aannemer als de opdrachtgever beseffen dat de mogelijkheid op uitloop bij een betrouwbaarheid van 80% nog steeds blijft bestaan. Zij willen daarom graag weten welke activiteiten "riskant" zijn en welk pakket tegenmaatregelen zinvol is om te late oplevering te voorkomen.

De opdrachtgever, de luchthaven directie, vraagt zich af of het plegen van een investering voor het wegnemen van het risico "Bom(men) aantreffen (A6)" zinvol is en tot welke prijs dit acceptabel is. De directie is bereid een "passende premie" te betalen als kan worden aangetoond dat deze gebeurtenis kan worden vermeden. Voor de luchthaven GATEWAY is het kunnen beschikken over de startbaan namelijk van grotere waarde dan het innen van een boete bij de aannemer.

Uit de simulatie blijkt het volgende:

Tabel 4.1 *Calculatie van de minimale, maximale en gemiddelde projectduur. Paden met kans van kritiek zijn en vaststelling van het pad dat hoofdverantwoordelijk is voor de spreiding van de projectduur.*

***** ESTIMATED DURATION OF FICTION 8u/7d *****					
MEANVALUE	= 43.78	SIGMA	= 2.70	MINDUR	= 37 ON PATH 1
VAR.COEF.	= 0.06	VARIATION	= 7.30	MAXDUR	= 61 ON PATH 2
Path 1	38% of sim. resp. for :	28% of proj-var. !			
Path 2	53% of sim. resp. for :	65% of proj-var. !			
Path 3	7% of sim. resp. for :	5% of proj-var. !			
Path 4	2% of sim. resp. for :	2% of proj-var. !			

Hoewel men tevreden is met de bouwtijd van 46 dagen, die tevens voldoet aan de betrouwbaarheid van 80% (≤ 50 dagen) (zie *figuur 4.8* en *2.4, Intermezzo: Het project Fiction*), vraagt men zich af, gezien de uitkomsten van de simulatie (uitloop mogelijk tot 61 dagen), welke activiteiten "riskant" moeten worden geacht. Daarom besluit men pad 2, dat 53% van de 10.000 simulaties (als kritieke pad) maatgevend is en ook voor 65% verantwoordelijk van de spreiding van de einddatum moet worden geacht, nader te analyseren. Evenzo pad 1.

Tabel 4.2 Simulatie van pad 2, de minimale, maximale en gemiddelde pad-duur en activiteitsduren. Tevens ALFA² (alfa kwadraten, indices voor aandeel onzekerheid per activiteit A_i in de spreidingen van de duur van het pad P₂)

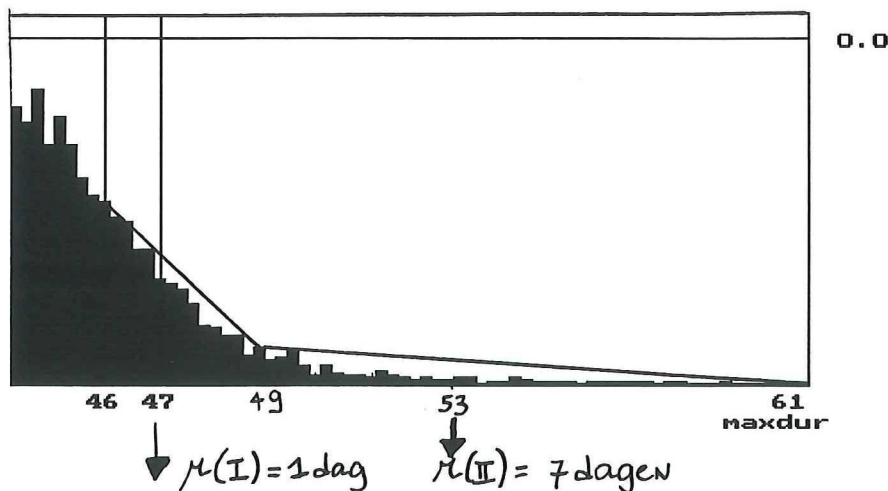
***** ESTIMATED DURATION OF PATH 2 *****									
MEANVALUE	=	42.63	SIGMA	=	3.14	MINDUR	=	34	
VAR.COEF.	=	0.07	VARIATION	=	9.89	MAXDUR	=	62	
***** INDICATION FOR ACTIVITY DURATIONS ON PATH 2 *****									
NR.	ACTIVITY	MU	SIG/MU	MIN	MAX	SIGMA	VARI	REL-VAL	ALFA ²
6	ontgraven	12.8	0.17	8	29	2.1	4.5	0.99	47%
7	aanvullen	12.3	0.12	8	19	1.5	2.2	0.40	4%
8	funderen	8.3	0.07	7	10	0.6	0.4	0.80	3%
9	aanbr. verh.	12.0	0.15	8	20	1.8	3.3	0.99	35%
10	voorz + belijn	6.5	0.16	5	12	1.1	1.1	0.99	12%

Tabel 4.3 Simulatie van pad 1, de minimale, maximale en gemiddelde pad-duur en activiteitsduren. Tevens ALFA² (alfa kwadraten, indices voor aandeel onzekerheid per activiteit A_i in de spreidingen van de duur van het pad P₁)

***** ESTIMATED DURATION OF PATH 1 *****									
MEANVALUE	=	41.58	SIGMA	=	2.63	MINDUR	=	33	
VAR.COEF.	=	0.06	VARIATION	=	6.93	MAXDUR	=	52	
***** INDICATION FOR ACTIVITY DURATIONS ON PATH 1 *****									
NR.	ACTIVITY	MU	SIG/MU	MIN	MAX	SIGMA	VARI	REL-VAL	ALFA ²
1	demont. baan	10.0	0.10	7	13	1.0	1.0	0.99	14%
2	frezen dekla.	14.1	0.18	9	29	2.6	6.8	0.40	16%
3	aanbr. verha.	6.0	0.16	5	11	1.0	1.0	0.99	14%
4	voorz + belijn	15.3	0.11	12	20	1.7	2.9	0.99	41%
5	ET-werk + Test	5.0	0.20	2	8	1.0	1.0	0.99	14%

Voor pad 2 dat de meeste keren maatgevend blijkt te zijn, wordt door de "pad-analyse" gesuggereerd dat het zinvol is om de aandacht naar de activiteiten A6, A9 en A10 te laten uitgaan, gezien hun grote aandeel in de pad-spreiding. (ALFA² geeft de mate aan waarin een activiteit A_i verantwoordelijk is voor de spreiding van het pad P₂, zie 4.4.3 Risico-aandeel per activiteit). Voor pad 1 blijkt dit voornamelijk activiteit A4 te zijn.

Bij het project Fiction blijkt bij een gekozen D80% van 46 dagen (zie figuur 4.8), gegeven dat er uitloop is, de grootte van het verwachte tijd-risico 2.5 dagen te zijn.



Figuur 4.12 Uitvergroting van de staart van de kansdichtheidsfunctie van het project FICTION, zie ook figuur 4.8

Het risico is als volgt berekend:

D80% = 46 dagen (betrouwbaarheidseis)
 D100% = 61 dagen (maximale duur uitvoering)

Door een aantal klassen van uitloop bij elkaar te voegen zijn er 2 klassen van uitloop samengesteld, namelijk:

klasse	breedte	$\mu(\text{uitloop})$	kans	risico
I	van 46-49 dagen	1	15%	0.15
II	van 49-61 dagen	7	5%	<u>0.35</u>
Totaal				0.50

Verwachtingswaarde van de uitloop gegeven dat er uitloop is:
 $E(\mu\text{-risico} | \text{duur} > 46 \text{ dagen}) = (0.5/0.2) = 2.5 \text{ dagen.}$

Dit risico is geheel berekend volgens de methode beschreven in (4.5.2, Risico-beschouwing).

Om het risico, de verwachtingswaarde van de uitloop, te reduceren wordt door de luchthaven-directie en de aannemer een aantal maatregelen gesuggereerd, te weten:

M0

Het 0-alternatief. Er wordt volstaan met de huidige planning. Er worden geen extra inspanningen gepleegd om het risico te reduceren.

M4-10

Voor de activiteiten A4 en A10, het aanbrengen van voorzieningen en belijningen op de start- en rijbaan, wordt besloten de het aantal ploegen van 1 naar 2 te

verhogen (verdubbeling van F_{prod}). Dus wordt er of met een dubbele ploeg of wordt er 16 uur per dag i.p.v. 8 uur per dag gewerkt.

M6-B

Er wordt een bommenexpert, voorafgaand aan het ontgraven (A6), ingehuurd die nagaat of er bommen in het veld liggen en indien nodig deze onschadelijk maakt. Er wordt aangenomen dat de bommenexpert, die beschikt over zeer hoogwaardig equipment en een betrouwbare reputatie geniet, alle bommen traceert waardoor de kans van "aantreffen bom" van 2% naar 0% afneemt.

M6-P

Voor de activiteit A6, het ontgraven van een nieuw cunet voor de rijbaan, wordt besloten 5 extra graafploegen in te zetten waardoor de inzet (F_{prod}) van 20 naar 25 toeneemt.

M9-P

Voor de activiteit A9, het aanbrengen van de verharding op de rijbaan, wordt besloten 3 extra asfaltsets in te zetten waardoor de inzet (F_{prod}) van 3 naar 6 toeneemt (of 16 uur i.p.v. 8 uur per dag te werken).

Elke alternatieve maatregel wordt afzonderlijk gesimuleerd waardoor een overzicht ontstaat van de duren D80%, D100%, de betrouwbaarheid van de duur bij 46 dagen, het verwachte tijd-risico $\mu(R)$ (zie 4.5.2, *Risico-beschouwing*) en de tijd- en kosten-effectiviteit van de maatregel. De kosten van de maatregelen zijn in de volgende tabel weergegeven.

Tabel 4.4 Overzicht van maatregelen, tijd- en geldrisico's.

Maatregel	D46	D80%	D100%	Kosten	$\mu(R)$	Verwachte Boete	Totale investering	Besparing t.o.v. M0
M0	80%	46	61	0	2.5	2.500.000	2.500.000	0
M4-10	96%	42	58	1.000.000	1.5	1.500.000	2.500.000	0
M6-B	80%	46	56	2.000.000	1.2	1.200.000	3.200.000	-700.000
M6-P	90%	45	61	600.000	1.6	1.600.000	2.200.000	300.000
M9-P	95%	44	56	700.000	1.3	1.300.000	2.000.000	500.000

Uit de tabel valt het volgende te concluderen t.a.v.:

M0, als de aannemer de verwachtingswaarde van het risico te hoog vindt kan hij besluiten een maatregel te treffen teneinde het risico te reduceren.

M4-10, met een relatief hoge investering wordt de variantie enigszins teruggebracht waardoor het verwachte risico afneemt tot 1.5 dagen. De kans dat het project binnen 46 dagen uitgevoerd wordt, stijgt van 80% naar 96%. De reputatie van de aannemer, inzake te late oplevering, wordt door de hoge betrouwbaarheid van de voorspelling in principe gewaarborgd. De totale geldsom die echter gemoeid is met deze maatregel levert geen besparing op ten opzichte van het 0-alternatief.

M6-B, met een hoge investering wordt bereikt dat de activiteit (A6) ontgraven "ongestoord kan worden uitgevoerd". De zekerheid met betrekking tot een continu bouwproces wordt wel beter gewaarborgd. Het plegen van deze investering sorteert weinig effect aangezien de betrouwbaarheid van de planning nog steeds 80% bij 46 dagen bouwtijd bedraagt. Bovendien is deze maatregel duurder dan het 0-alternatief. Beter is het dat de luchthaven verzekeringen afsluit waarbij aangeraden wordt de volgende premies niet te overschrijven:

kans	gevolg	premie
2% op aantreffen bom(men)	2.000.000,- voor verwijderen	40.000,-
2% op 10 dagen vertraging	10.000.000,- inkomstendering	200.000,-

M6-P, met een relatief kleine investering wordt de variantie enigszins teruggebracht waardoor het verwachte risico afneemt tot 1.6 dagen. De kans dat het project binnen 46 dagen uitgevoerd wordt, stijgt van 80% naar 90%. Dit alternatief levert een besparing van 300.000,- gulden op ten opzichte van het 0-alternatief en moet daarom als potentiële maatregel worden beschouwd voor het geval de aannemer wil ingrijpen. Wel blijft de mogelijkheid op grote uitloop bestaan.

M9-P, met een relatief kleine investering wordt de variantie gereduceerd waardoor ook het verwachte risico aanzienlijk afneemt tot 1.2 dag. De kans dat het project binnen 46 dagen uitgevoerd wordt, stijgt van 80% naar 95%. De besparing t.o.v. het 0-alternatief is 500.000,- gulden en is behoorlijk. Als er wordt overwogen in te grijpen in het risico-profiel van het project verdient het aanbeveling deze maatregel als eerste toe te passen. Bijkomend voordeel is dat de aannemer bijna tot het eind van de uitvoering kan wachten alvorens hij besluit de extra machines in te zetten.

Een nadere analyse van de uitvoering betreffende maatregel M9-P, het verhogen van de werkcoëfficiënt van 3 naar 6 werkeenheden (asfaltsets) per dag levert het volgende overzicht:

Tabel 4.5 Calculatie van de minimale, maximale en gemiddelde projectduur na maatregel M9-P. Paden met kans van kritiek zijn en vaststelling van het pad dat hoofdverantwoordelijk is voor de spreiding van de projectduur.

***** ESTIMATED DURATION OF FICTION 8u/7d *****					
MEANVALUE	= 41.75	SIGMA	= 2.61	MINDUR	= 34 ON PATH 1
VAR.COEF.	= 0.06	VARIATION	= 6.80	MAXDUR	= 56 ON PATH 2
Path 1	90% of sim. resp. for :	84% of proj-var. !			
Path 2	10% of sim. resp. for :	16% of proj-var. !			
Path 3	0% of sim. resp. for :	0% of proj-var. !			
Path 4	0% of sim. resp. for :	0% of proj-var. !			

Het blijkt dat pad 1 vrijwel zeker het maatgevende pad tijdens de uitvoering zal zijn. Zowel de duur bij D80% is acceptabel (44 dagen), de duur van 46 dagen bouwtijd wordt met 95% betrouwbaarheid gewaarborgd en de grootte van de uitloop is -gegeven dat er uitloop optreedt- beperkt (maximaal 56 dagen bouwtijd). Daar activiteit A9 vrijwel aan het eind van paden 2, 3, en 4 ligt kan het verhogen van de inzet ook worden aangehouden totdat blijkt dat dit echt noodzakelijk is.

Om tenslotte een idee te krijgen voor de duur van de activiteiten (de lengte van de balkjes in het planningsschema) kan *tabel 4.2* worden geraadpleegd. Activiteit A9 ligt niet op pad 1 en zullen de uren van de activiteiten gelegen op pad 1 ook niet gewijzigd zijn.

Aangeraden wordt om de gemiddelde uren van activiteiten A1 tot en met A5 te kiezen als de lengte voor de balken.

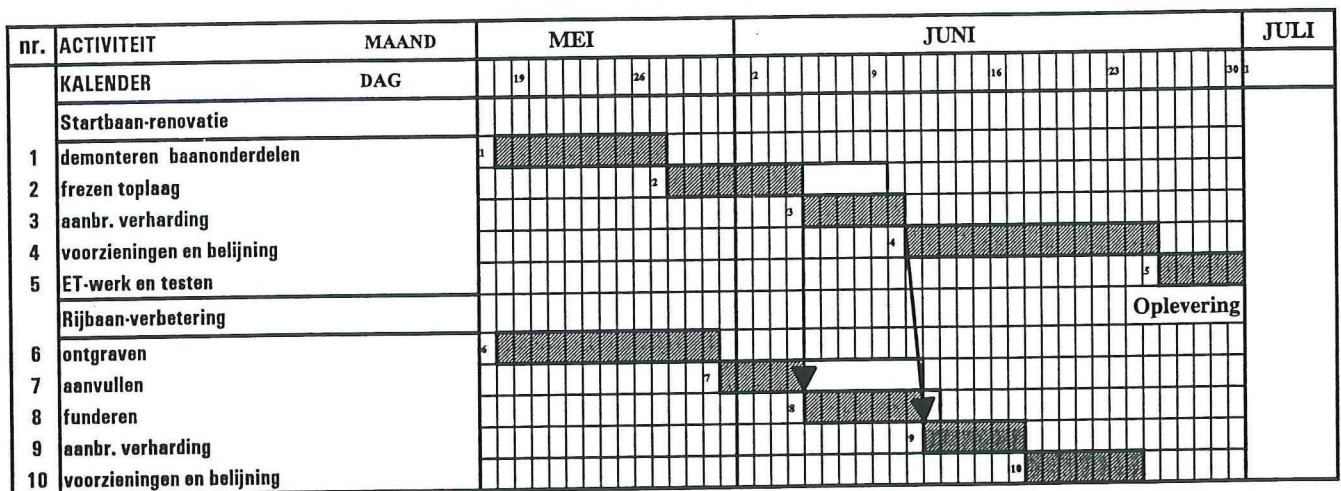
Controle:

$$100\% * \mu(A1) + 40\% * \mu(A2) + 100\% * \mu(A3) + 100\% * \mu(A4) + 100\% * \mu(A5) =$$

$$10 + 6.5 + 6 + 15.3 + 5 = 43 \text{ dagen bouwtijd.}$$

Dit komt goed overeen met de geraamde bouwtijd van 44 dagen bij 80% betrouwbaarheid.

UITVOERINGSPLANNING project FICTION



Figuur 4.13 De uiteindelijk verkregen, betrouwbare planning voor project FICTION

4.7 Conclusies

Met behulp van het opgezette **kwantitatieve risico-analyse rekenmodel PTE** is het mogelijk geworden om:

- * een opleverdatum van een project exact te voorspellen inclusief de verwachte minimale, maximale en meest waarschijnlijke bouwtijd. Tevens is deze bouwtijd gekoppeld aan een kans van overschrijding alsmede aan een bijbehorende maat van uitloop.
- * het pad aan te duiden waarlangs de uitvoering zich het meest waarschijnlijk zal laten voltrekken tijdens uitvoering (het werkelijke kritieke pad!).
- * het pad aan te geven dat hoofdverantwoordelijk moet worden geacht voor de spreiding van de bouwtijd en daarmee het uitloop-risico.
- * per pad de activiteiten in de uitvoeringsfase van het project op te sporen die het meest bijdragen aan de spreiding van het pad en daarmee aan de spreiding van de bouwtijd. Deze riskante activiteiten kunnen naar ernst worden gerangschikt. Op deze wijze wordt bij de raming van de uitvoeringsduur expliciet rekening gehouden met de onzekerheden per activiteit.
- * de uitvoering van een geheel project bestaande uit meerdere parallelle deelprojecten (en paden) in zijn geheel middels een stochastisch netwerk te simuleren. Dit houdt in dat niet alleen meer op de "kop-staart" manier of slechts per pad de uren van activiteiten bij elkaar kunnen worden opgeteld, maar dat ook de typische overlappen van activiteiten zoals die vaak bij GWW-projecten voorkomen, expliciet mee kunnen worden genomen in de simulatie.

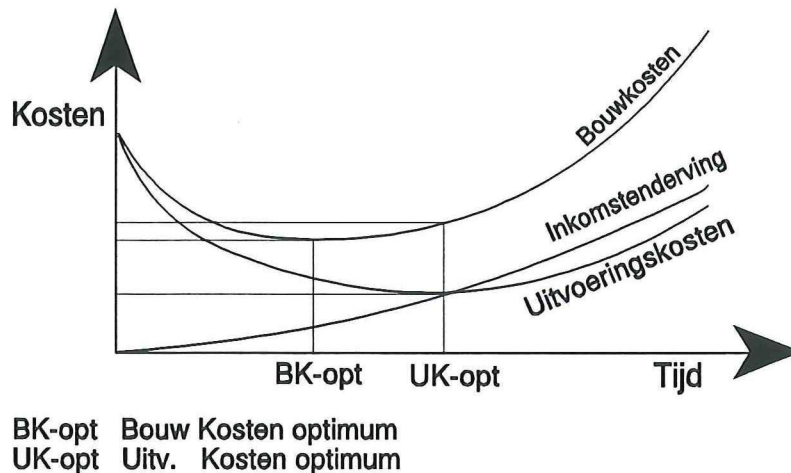
In de praktijk dient men er degelijk mee rekening te houden dat:

- * het "aanpakken" van het pad waarmee de maximum-uitvoeringsduur wordt behaald de meest effectieve manier is om zowel de spreiding rond de einddatum als de gemiddelde uitvoeringsduur te reduceren.
- * het pad dat tijdens uitvoering het meest waarschijnlijk zal worden doorlopen niet altijd hoofdverantwoordelijk hoeft te zijn voor het uitlooprisico.
- * het tijd-risico per activiteit niet alleen afhankelijk is van de fluctuatie van de activiteitsduur maar evengoed van zijn relaties met andere activiteiten. Immers, een activiteit die heel erg fluctueert maar slechts in de marge kritiek is zal minder uitlooprisico met zich meebrengen dan een activiteit die minder fluctueert maar wel helemaal op het kritieke pad ligt.
- * het risico zowel afhankelijk is van de normale als de bijzondere gebeurtenissen. Per activiteit zal moeten worden bepaald welke type onzekerheid het grootste is.

5 Kosten van de fase van uitvoering

5.1 Algemeen

In het voorgaande hoofdstuk is de aandacht voornamelijk uitgegaan naar het probabilistisch berekenen van uitvoeringsduren en de hierbij behorende tijd-risico's. Een tijd-optimum hoeft echter nog geen kosten-optimum te zijn. Analoog aan de uitvoeringsduur-berekening wordt in dit hoofdstuk een aanzet gegeven voor de probabilistische benadering van de grootte kosten. Dit kan het zoeken naar het optimum van de gekoppelde grootheden tijd-kosten-kwaliteit, dat de projectorganisatie zich als doel heeft gesteld, vergemakkelijken. In dit hoofdstuk wordt aangegeven hoe de exacte berekening van kosten voor de fase van uitvoering opgezet en geïmplementeerd kan worden. In een vervolgstudie hoeft deze rekenmethode slechts geïmplementeerd te worden in computertaal waarbij de mogelijkheid bestaat deze module naadloos te laten aansluiten bij het ontwikkelde simulatie-programma PTE.



Figuur 5.1 Het bouwkosten-optimum als functie van de uitvoeringskosten en inkomstenderving (beiden o.a. bepaalt door de uitvoeringsduur).

Figuur 5.1 geeft aan dat de hoogte van zowel de kosten van de fase van uitvoering als de bouwkosten van het project, in grote mate door de lengte van de bouwtijd wordt bepaald. De bouwkosten worden in dit geval beschouwd als de som van de uitvoeringskosten en de gedorven inkomsten van de opdrachtgever. Het verkorten van de optimale bouwtijd (UK-opt, UitvoeringsKostenTijd) zal de kosten van de fase van uitvoering verhogen maar tegelijkertijd de totale bouwkosten (BK-opt) verlagen. Des te korter men de bouwtijd eist des te hoger zullen de investeringen zijn om dit te bewerkstelligen. Een langere bouwtijd houdt in dat zowel de kosten van de fase van uitvoering als de totale bouwsom hoger zullen uitvallen. In de rest van dit hoofdstuk zal tot de kosten van de fase van uitvoering worden beperkt.

5.2 Inleiding

Analoog aan de tijdsraming kan bij een kostenraming iedere activiteit als drager van informatie, in dit geval kosten-informatie, worden beschouwd. Dit is het principe van de basisraming die uitgaat van de kosten per activiteit.

Het totale project-budget is normaliter opgebouwd uit een aantal verschillende posten. Zo zijn er onder meer posten gereserveerd voor de projectorganisatie en -coördinatie, de ontwerp-, bestek- en uitvoeringsfase. Het is in deze vooral interessant de fase van uitvoering te beschouwen daar deze bij een civiel werk over het algemeen minimaal 80% van het totale project-budget beslaat.

De berekening van kosten kan evenals de tijdsraming op meerdere abstractie-niveaus, en daarmee met verschillende nauwkeurigheid, worden uitgevoerd. Om de aansluiting met de eerder opgezette methode te behouden zal beknopt worden weergegeven hoe de kosten van de uitvoeringsduur kunnen worden voorspeld gekoppeld aan een kans van overschrijding. Dit in relatie met de eerder berekende uitvoeringsduur van het project. Voor een opdrachtgever is dit van belang om inzicht te krijgen in de opbouw van de uitvoeringskosten en risico's van het project. Dit rekenmodel kan ook, als ramingsmiddel, van nut zijn voor de aannemer die een betrouwbaar inzicht wil hebben in de opbouw de uitvoeringskosten en bijbehorende onzekerheden. De aannemer kan op basis van deze kostenberekening, en dan niet alleen bij een krappe markt, verantwoord (laag) inschrijven bij de aanbesteding van een werk.

[Schouls, Risico-analyse in de bouw]

5.3 De opzet van het rekenmodel

In deze paragraaf wordt beschreven hoe de kosten kunnen worden gemodelleerd en gesimuleerd. Het is niet de bedoeling om de opbouw en implementatie haarfijn te beschrijven vanwege de analogie met het vorige hoofdstuk.

5.3.1 Kostensoorten

Kosten kunnen afhankelijk van het vooropgestelde doel in diverse kosten-klassen worden opgedeeld. In deze paragraaf zal een opdeling naar vaste en variabele kosten worden gemaakt.

Vaste kosten

of constante kosten worden over het algemeen niet beïnvloed door de gestelde operationele activiteiten. Een nader onderscheid van vaste kosten is:

"discretionary fixed costs",

zijn dat deel van de vaste kosten die het management voor zichzelf als vast heeft gekozen voor een bepaalde budgetperiode.

"committed fixed costs",

zijn dat deel van de vaste kosten die het management voor zichzelf als vast heeft gekozen over meerdere budgetperioden.

Vaste kosten zijn in het algemeen ongevoelig voor hoeveelheid-, prijs- en tijd-fluctuaties. Voorbeelden van vaste kosten kunnen zijn:

- * voorgenomen afschrijvingen
- * mobilisatiekosten van het materiaal
- * inrichtingskosten voor het bouwterrein
- * publicatie- en representatiekosten
- * premies voor verzekeringen

Variabele kosten

deze zijn vaak gebonden aan hoeveelheid-, prijs- en tijd-fluctuaties. Ook hier is een onderscheid te maken naar:

"engineered costs",

zijn dat deel van de variabele kosten die direct reageren op elke verandering in de productie activiteiten.

"discretionary variable costs",

zijn dat deel van de variabele kosten die per budgetperiode door het management per produkt of als percentage worden gemaakt dan wel aangerekend.

[Blommaert, Bedrijfseconomische Analyses]

Voorbeelden van variabele kosten zijn:

- * de huur van machines
- * de lonen van het personeel
- * fluctuaties in hoeveelheden te verwerken grondstof
- * fluctuaties in de prijzen van de grondstoffen

5.3.2 Modelling van de kosten

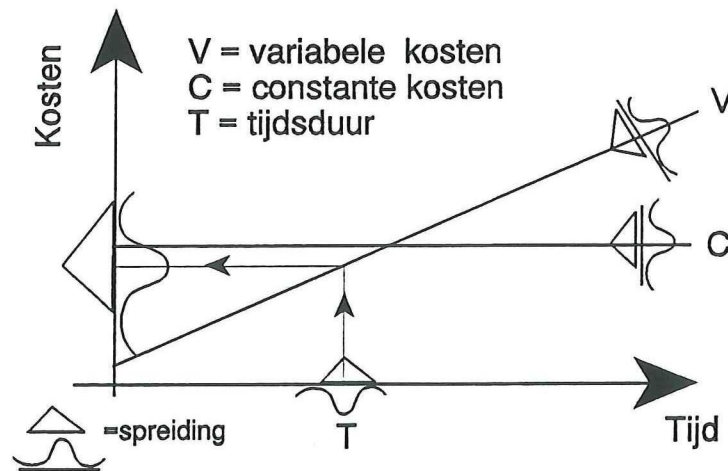
Per activiteit kan een onderscheid gemaakt worden naar:

- * normale onzekerheden
- * bijzondere gebeurtenissen

* **Normale onzekerheden**

veroorzaken dat zowel de vaste als de variabele kosten per activiteit, niet door een enkele deterministische waarde kunnen worden weergegeven. Met behulp van het continue model zijn de hoeveelheid-, prijs- en productie-fluctuaties te ondervangen in continue stochasten die zowel de vaste als de variabele kosten beschrijven en of identificeren. Het middel bij uitstek in deze zijn wederom de kansdichtheidsfuncties van de grootheden hoeveelheid, tijd en kosten van de activiteiten.

Figuur 5.2 geeft schematisch aan hoe de vaste en variabele kosten kunnen worden voorgesteld. Per activiteit kunnen waarden voor de hoeveelheid, prijs, productie en tijdsduur van de activiteit worden geloot. Hiermee kunnen waarden voor zowel de variabele als de vaste kosten worden samengesteld die tezamen een trekking voor de continue kostprijs van activiteit A_i bepalen.



Figuur 5.2 Opbouw van de normale onzekerheden bij de kostprijsbepaling.

* Bijzondere gebeurtenissen

Met behulp van het discrete model kunnen de bijzondere gebeurtenissen ("onvoorziene" uitgaven) in discontinuë stochasten worden vertaald. Ook combinaties van discontinuë risico's zijn mogelijk. De onvoorziene uitgaven worden tot nu toe met de post onvoorziën in de begroting afgedekt. Gebruikelijk is het om een vast percentage op te nemen dat gebaseerd is op eerdere ervaringen of afhankelijk van het type project.

5.3.3 Analogie voor simulatie

Het programma PTE kan op vrij eenvoudige wijze uitgebreid worden met een eenheid voor de kostenberekening. Immers, per activiteit worden nu reeds voor de materiaal-hoeveelheden, producties en de tijdsduren representatieve waarden "geloot".

Zowel uit de continue als de discontinuë verdelingen kunnen trekkingen worden geloot om de kostprijs van een activiteit te bepalen. De combinatie van deze trekkingen geeft per activiteit een representatieve bijdrage in de begroting van de fase van uitvoering. Door het verrichten van een groot aantal trekkingen uit de kostenverdelingen van de activiteiten en sommatie van deze kosten ontstaat voor de kostprijs van de uitvoering een waarschijnlijkheidsverdeling.

Voor een opdrachtgever is nu het inzicht geschapen om de bijdrage van normale onzekerheden en bijzondere gebeurtenissen in het totale uitvoeringsrisico te beschouwen. Voor een aannemer vormt dit kwantitatieve rekenmodel een goede basis om te komen tot een betrouwbare schatting van de kosten. Hierdoor kan er een prijsopgave worden gedaan die met een zekere mate van zekerheid niet overschreden zal worden door de werkelijke kosten.

5.4 Afhankelijkheid en onafhankelijkheid

Het gemak van een kostenberekening ten opzichte van een tijdsberekening is dat er niet "langs een kritiek pad" hoeft te worden gesommeerd; de kosten van alle

activiteiten kunnen rechtstreeks bij elkaar opgeteld worden. Dit maakt het bij een kostenberekening makkelijker om de kwestie van afhankelijkheid en onafhankelijkheid uit te leggen (zie 4.5, Aandachtspunten).

Als posten onafhankelijk zijn, mogen de standaardafwijkingen σ_i "kwadratisch opgeteld" worden. De wortel uit de som der kwadraten is de standaardafwijking voor de begroting. Bij volledige afhankelijkheid moeten de standaardafwijkingen σ_i lineair bij elkaar worden opgeteld. De praktijk zal het meest neigen naar de situatie van totale onafhankelijkheid van posten en of activiteiten. Bij volledige onafhankelijkheid van posten cq. activiteiten zal de spreiding van de raming t.o.v. de spreiding bij volledige afhankelijkheid een stuk smaller zijn. Dit is het gevolg van onderlinge compensatie van mee- en tegenvallers.

Toch kan er in de praktijk enige mate van afhankelijkheid tussen posten zijn. Dit fenomeen is te beschrijven door een factor a_i te introduceren. Deze factor geeft aan, welk deel van de standaardafwijking van de post afhankelijk is van de standaardafwijking van andere posten.

post	si-tot.	afhank.	si-afh.	si-onafh.	(si-onafh.) ²
1	σ_1	a_1	$a_1 * \sigma_1$	$\sqrt{[1-a_1^2]} * \sigma_1$	$(1-a_1^2) * \sigma_1^2$
2	σ_2	a_2	$a_2 * \sigma_2$	$\sqrt{[1-a_2^2]} * \sigma_2$	$(1-a_2^2) * \sigma_2^2$
.
.
n	σ_n	a_n	$\frac{a_n * \sigma_n \pm}{\sigma_{afhankelijk}}$	$\sqrt{[1-a_n^2]} * \sigma_n$	$\frac{(1-a_n^2) * \sigma_n^2 +}{\sigma_{onafhankelijk}^2}$

$$\sigma^2_{totaal} = \sigma^2_{afhankelijk} + \sigma^2_{onafhankelijk} \tag{5.1}$$

$$\sigma_{totaal} = \sqrt{[\sigma^2_{totaal}]} \tag{5.2}$$

Het afhankelijke deel wordt lineair opgeteld in de kolom "si-afh.", het onafhankelijke deel wordt in de laatste kolom "si-onafh²", kwadratisch gesommeerd. De totale standaardafwijking wordt berekend door het afhankelijke deel en het onafhankelijk deel kwadratisch te sommeren en uit het totaal de wortel te trekken.

[Vrijling, Spelen met kansen]

Merk op dat voor de gevallen dat alle a_i 's:

- 0 zijn, de posten cq. activiteiten zuiver onafhankelijk zijn.
- 1 zijn, de posten cq. activiteiten zuiver afhankelijk zijn.

5.5 Conclusies

Analoog aan de eerder opgestelde tijdsraming is een probabilistische rekenmethode voor kostenraming op te zetten met als verschil dat de kosten "niet langs een kritiek pad" hoeven te worden gesommeerd. Het voordeel van deze methode is dat de opbouw van "de traditionele post onvoorzien" inzichtelijk wordt gemaakt. Dit zal op de lange termijn er toe leiden dat de opbouw van de gehanteerde percentages van de post onvoorzien, door beter inzicht en daarmee afname van de spreiding, bijgesteld kunnen worden.

In een vervolgonderzoek kan met behulp van computer-implementatie van bovenstaande rekensystematiek het simulatie-programma PTE worden gecompleteerd. Hierdoor wordt het niet alleen mogelijk exacte uitvoeringsduren te voorspellen met de bijbehorende kans van overschrijding, maar ook de bijbehorende "prijs" voor de fase van uitvoering eveneens gekoppeld aan een kans van overschrijding. Er kan zo inzicht worden opgebouwd in het tijd-kosten-kwaliteit optimum van het betreffende project.

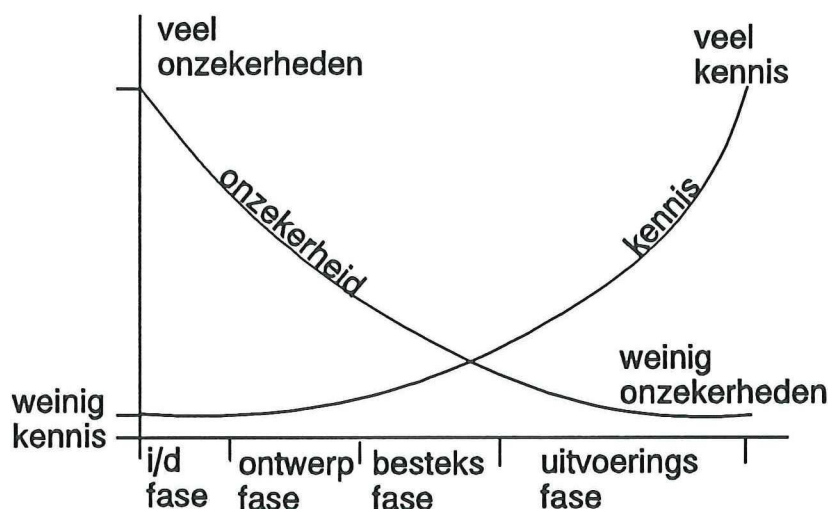
Bij het toepassen van de probabilistische benadering is het expliciet mogelijk zowel normale onzekerheden betreffende hoeveelheds-, prijs- en productie-fluctuaties als de kosten van bijzondere gebeurtenissen mee te laten tellen in de kostenraming.

6 Risico-analyse op project niveau

6.1 Algemeen

In voorgaande hoofdstukken is de risico-berekening bewust beperkt tot de fase van uitvoering van het project. Uiteraard bestaat er een continue wisselwerking tussen de verschillende project-fasen. De gevolgde redenering voor het probabilistisch rammen van uitvoeringsduren en kosten kan naar een hoger abstractie-niveau getild worden, namelijk dat van het totale project: risico-analyse op project niveau.

In dit hoofdstuk zal beknopt worden ingegaan op de aanpak en opzet voor een risico-analyse model op project niveau.



Figuur 6.1 Afnemende abstractie en onzekerheden-ontwikkeling gedurende het projectlevensverloop.

6.2 Inleiding

Analoog aan de tijd- en kostenraming op uitvoeringsniveau kan voor het totale project een probabilistische tijd- en kostenraming worden opgezet.

Van het betreffende project dienen eerst de omvang en de inhoud bekend te zijn. Immers kan een goed plan pas opgesteld worden als bekend is wat het doel is. Latere beleidsbeslissingen ten aanzien van omvang en inhoud van het project, zogenaamde plan-onzekerheden of plan-varianten, worden voor deze analyse buiten beschouwing gelaten. Naar gelang de uitwerking van het project vordert zullen steeds meer gegevens vrij komen die het rammen ondersteunen. Het is dan ook zinvol om per projectfase een

gepaste maat van detaillering aan te houden. Het is vooralsnog vrij zinloos om gedetailleerd te plannen als er over het verdere verloop van het project nog grote onzekerheden bestaan.

Gedurende elke fase van het project zijn er verschillende typen risico's te onderscheiden. Op project-niveau spelen er andere risico's dan op het niveau van een specifieke fase als de uitvoering. Het is in deze nodig de risico's op projectniveau te beschouwen zoals de omvang van het project, de financiering, de gekozen aannemer, de benodigde vergunningen, etc.

Ter illustratie zijn in *tabel 6.1* per fase enkele risico's en hun typering opgesomd.

Tabel 6.1 Voorbeeld van de verscheidenheid aan risico's op project-niveau

Fase	Risico's	Oorzaak	Typering A	Typering B
Initiatief Definitie	politieke financiële	nieuwe wetgeving afbakening project	extern intern	niet voorspelbaar beheersbaar
Ontwerp	incompleteheid	verkeerde aannamen	intern	organisatorisch
Bestek	artificiële	slechte coördinatie	inherent aan proj.	beheersbaar
Uitvoering	tijdrisico	vertragingen	voorspelbaar	kwantificeerbaar
Nazorg	beheer	betalingen	niet-technisch	ext.-voorspelb.

De activiteiten van een fase kunnen weer als drager van informatie, in dit geval tijd- en kosten-informatie, worden beschouwd.

6.3 De opbouw van het rekenmodel

In deze paragraaf wordt beschreven hoe de grootheden tijd en kosten kunnen worden gemodelleerd en gesimuleerd. Het is niet de bedoeling om de opbouw en implementatie haarfijn te beschrijven, aangezien de gelijkenis met de vorige hoofdstukken groot is.

6.3.1 Kostenraming

In het stadium van haalbaarheidsonderzoeken, waar nog geen sprake is van een concreet ontwerp, is het niet mogelijk een gedetailleerde raming te maken op basis van uitgetrokken hoeveelheden. Om toch een redelijk betrouwbaar beeld te hebben van de te verwachten investeringskosten kan gebruik worden gemaakt van kengetallen (ervaringscijfers), welke het resultaat zijn van onder andere (financiële) analyses van eerder gerealiseerde projecten.

De kengetallen zijn gestoeld op kenmerken van het project zoals type constructies, beschikbaar budget, aantal kunstwerken, benodigde vergunningen, etc. Naarmate het project vordert, zullen de voor een raming benodigde gegevens meer gedetailleerd beschikbaar komen en is er sprake van een aflopend gebruik van kengetallen gedurende het project. In de beginfase van het project zal bijna uitsluitend met kengetallen gewerkt worden, terwijl in volgende fasen deze geleidelijk vervangen worden door meet- en calculatieresultaten. In de fase "bestek en aanbesteding" zal nog

maar sporadisch van kengetallen gebruik gemaakt worden. In de fase van uitvoering is alleen nog maar sprake van meten en calculeren. Aannemers daarentegen zullen tijdens aanbesteding en uitvoering wel degelijk gebruik maken van op basis van nacalculatie verkregen kengetallen. Voor de opdrachtgever en zijn adviseurs is de inschrijfbegroting de afsluiting van een periode van ramingen, voor de aannemer juist een inschatting van zijn uitvoeringskosten (zie 5, *Kosten van de fase van uitvoering*).

[Smook, bb20 dictaat *Organisatie van het bouwen*]

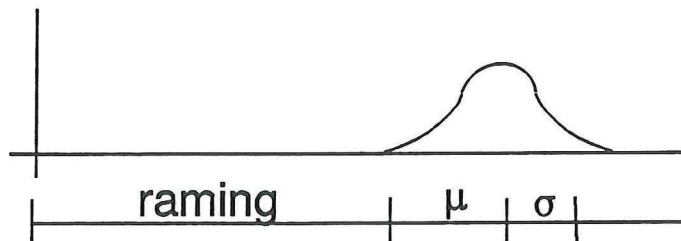
Uit eerder uitgevoerde studies blijkt de afwijking tussen de begroting (B) en de werkelijke kosten opgebouwd te zijn uit twee componenten. De eerste component (μ) is de gemiddeld optredende begrotingsafwijking die veelal wordt aangeduid met de term "nominaal onvoorzien". Deze extra kostenpost wordt opgeroepen door marges in de financiële uitgangspunten en door de onvolledigheid van de vaststelling van de omvang van het project. De tweede component (σ) is de statistische fluctuatie rond het begrootte bedrag + onvoorzien. Deze afwijking, die zowel positief als negatief kan zijn, wordt veroorzaakt door tal van toevallige effecten. Afhankelijk van de projectfase kunnen de volgende empirisch bepaalde percentages voor de beide componenten worden aangehouden:

projectfase	nominaal onvoorzien (μ)	standaard afwijking (σ)
planstudie	30%.B	50%.B
voorontwerp	20%.B	30%.B
besteksontwerp	10%.B	10%.B
uitvoeringsbegroting	5%.B	5%.B

Deze tabel is afgeleid voor grote projecten van allerlei soort. Er staan dus gemiddelde ervaringscijfers.

[Schouls, *Risico-analyse in de bouw*]
[Vrijling, *Spelen met kansen*]

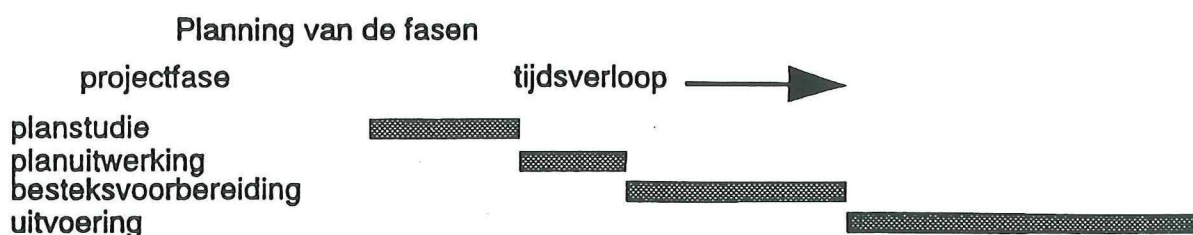
- K = werkelijke P-kosten**
- μ = nominaal onvoorzien**
- σ = statistische fluctuatie**
- $K = \text{raming} + \mu + \sigma$**



Figuur 6.2 Opbouw probabilistische raming van de werkelijke projectkosten

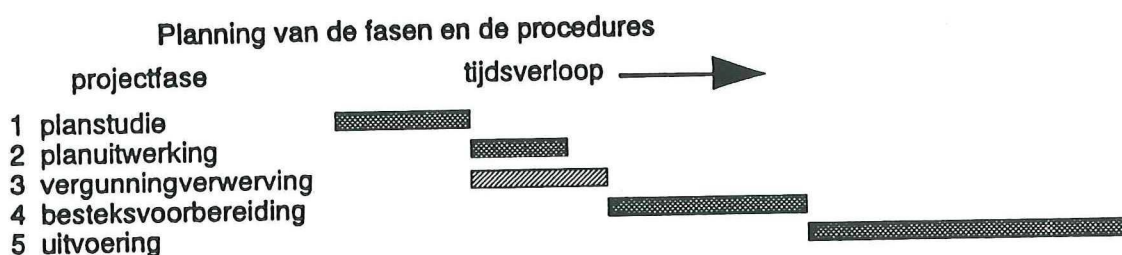
6.3.2 Tijdsraming

De tijdsplanning voor een project zal in de beginfase van het project min of meer de onderstaande vorm aannemen waarbij de activiteiten niet parallel zijn geschakeld.



Figuur 6.3 Planning van de fasen van het project in de tijd

Bij het opzetten van het project zullen al gauw de vergunnings- en andere belangrijke procedures in de planning worden opgenomen. De doorlooptijd van deze procedures zal meestal maatgevend zijn ten opzichte van de tijd die nodig is voor het maken van ontwerp en bestek. Zo ontstaat in feite een situatie waarin pas met de volgende fase van voorbereiding kan worden gestart als de vorige fase is afgerond én de benodigde vergunning is verkregen. De planning van het project krijgt dan min of meer de onderstaande vorm.



Figuur 6.4 Planning van de fasen én de procedures van het project.

De duur van het project wordt nu bepaald door de langste totale duur van één van de twee paden: a of b. Het pad a wordt bepaald door technische en organisatorische relaties, het pad b door juridische en organisatorische relaties.

$$D_a = T_1 + T_2 + T_4 + T_5$$

$$D_b = T_1 + T_3 + T_4 + T_5$$

$$D = \max[D_a, D_b]$$

Het uitlopen van o.a. vergunningsprocedures kan er toe leiden dat de duur D een discontinuë en niet overal differentieerbare functie van de duur van de activiteiten T_i wordt.

Ook kunnen activiteiten elkaar overlappen; parallel-schakelingen van gebeurtenissen, procedures of doorlooptijden. Zo kan het zijn dat reeds met de uitvoering wordt begonnen terwijl het bestek of ontwerp nog niet helemaal af is. De ontwikkelde simulator houdt expliciet rekening met dit soort typen overlappen.

Als het project de fase van uitvoering nadert zullen er steeds gedetailleerdere plannings kunnen worden opgesteld waarin de benodigde realisatie-activiteiten kunnen worden aangegeven met hun onderlinge technische en organisatorische relaties. Deze relaties geven ook aanleiding tot het ontstaan van diverse paden. Dit is specifiek voor de fase van uitvoering uitgewerkt in het ontwikkelde simulatie-programma PTE.

6.3.3 Analogie voor simulatie

Het programma PTE kan op vrij eenvoudige wijze gebruikt worden om een tijdraming van het totale project te maken. Er kunnen voor de diverse activiteiten tijdschattingen worden gemaakt waarbij het mogelijk is zowel normale tijdsspelingen aan te geven als tijdsspelingen ten gevolge van het optreden van bijzondere gebeurtenissen.

Zo kan bijvoorbeeld de tijdspanne voor het maken van een ontwerp worden ondervangen met een driehoeksverdeling; stel dat als het meezit het ontwerp binnen 5 maanden gereed is, de meest waarschijnlijke duur 7 maanden bedraagt en bij tegenvallers op 10 maanden moet worden gerekend.

De tijdspanne voor het verkrijgen van een "bepaalde moeilijke" vergunning kan worden gemodelleerd met behulp van een discrete kansverdeling. Als het meezit zal de vergunning met een ingeschatte kans van 70% na 3 maanden "binnen" zijn. Mochten de inspraakprocedures onverhoopt negatief uitvallen bestaat de kans (van 25%) dat de vergunning pas na 8 maanden binnen is en in het ergste geval (kans 5%) pas na 14 maanden.

Het programma zal voor iedere activiteit een gepaste waarde trekken voor de doorlooptijd en volgens de paden sommeren tot één einddatum. Door het verrichten van een groot aantal trekkingen uit de kansverdelingen van de activiteiten en sommatie hiervan ontstaat voor de totale tijdsduur van het project een kansdichtheidsfunctie.

Voor een opdrachtgever is nu het inzicht geschapen om de bijdrage van normale onzekerheden en bijzondere gebeurtenissen in het totale projectrisico te beschouwen. Evenzo kunnen de kosten ingeschat worden. Aan de hand hiervan is het voor de opdrachtgever mogelijk om al dan niet in te grijpen in het voorspelde projectverloop.

6.4 Conclusies

Het is mogelijk om met behulp van risico-analyse op project-niveau ramingen uit voeren betreffende de projectbeheersaspecten tijd en kosten. De eerder behandelde technieken van risico-vaststelling, risico-berekening en risico-beoordeling blijven van toepassing.

Aan de hand van de uitkomsten van deze probabilistische ramingen kan het project-management sturen in de condities van het project. Het opzetten, opstellen en uitvoeren van risico-beleid is voor opdrachtgevers van grote projecten haast een noodzaak daar het een scala aan beheersmogelijkheden biedt aan het project-management.

Met behulp van goed gestructureerd risico-beleid wordt het mogelijk om risico's per project expliciet te noemen en te controleren. Hierdoor wordt het mogelijk om effectieve maatregelen te treffen om de kans op optreden te verminderen en/of de gevolgen te beperken.

Risico-beleid kan op zeer eenvoudige wijze vorm worden gegeven. Een mogelijkheid hiervoor is het opstellen van een risico-"checklist". Dit is een lijst met gebeurtenissen, waarvoor expliciet de kans van optreden en omvang van de gevolgen is geschat of berekend. Verder kan er op gezette tijden gepeild worden of het gevaar van het risico geweken is. Deze risico's kunnen voor het betreffende project van de lijst verwijderd worden en tevens kan de opgebouwde statistische informatie worden aangevuld.

Dit leidt op de lange duur dat de percentages van onder andere de post onvoorzien bij kostenramingen, door afname van de spreiding, bijgesteld kunnen worden.

7 Conclusies

De kennisdomeinen planning en risico-analyse kunnen en moeten gecombineerd worden, immers:

- * structureert planning de voorbereiding en uitvoering van het project. Het omvat het in kaart brengen van onder andere de benodigde middelen, tijd, personeel, ruimte, kapitaal, kwaliteit en de onderlinge benodigde afstemming van voornoemde grootheden om het project te doen slagen. Met andere woorden: Plannen behelst het vaststellen en vastleggen van de manier waarop men een bepaald vooropgesteld doel wil bereiken.
- * draagt risico-analyse bij tot het blootleggen van de zwakke plan-onderdelen. Niet alleen zal de ontvlechting van de complexe werkelijkheid bijdragen tot een beter inzicht in de tijd- en geldrisico's, maar ook wordt de mogelijkheid geschapen andere alternatieve oplossingen te vergelijken waardoor de kwaliteit van de besluitvorming verbetert.

Door de risico's rationeel te benaderen kan er gefundeerd geraamd worden. Hierdoor wordt een veilige, maar verkeerde aanpak vermeden namelijk de situatie waarbij een opeenstapeling van te ruim gekozen zekerheden leidt tot een oneconomisch plan (ontwerp). Intuïtieve correcties van aannemers en opdrachtgevers kunnen worden blootgelegd omdat nu een methode is gevonden waarmee risico's bespreekbaar en handelbaar zijn geworden. Wijzigingen in het risico-profiel van het project zijn geen bezwaar omdat juist op deze manier inzicht kan worden opgebouwd in de risico-gevoeligheid van het project.

Met de ontwikkelde rekenmethode PTE is het mogelijk om:

- * de uitvoeringsduur van een *willekeurig droog infrastructuur* project exact te ramen waarbij nadrukkelijk de mogelijkheid bestaat om de kans op overschrijding van de geplande opleverdatum en de mate van uitloop te betrekken.
- * het/de pad(en) te voorspellen dat/die de grootste kans van optreden heeft/hebben en daarom tijdens de uitvoering kritiek zal/zullen zijn.
- * het/de pad(en) aan te duiden die het meest bijdraagt(bijdragen) aan de onzekerheid van en spreiding rond de opleverdatum.
- * per activiteit aan te geven hoe groot de spreiding absoluut en in verhouding met andere activiteiten is, met in acht neming van eerder vastgestelde hoeveelheden- en productie-fluctuaties alsmede bijzondere ongewenste gebeurtenissen.
- * expliciet rekening te houden met overlappen tussen activiteiten getypeerd door een overlap-percentages of door een aantal dagen. Hierdoor kunnen ook alle soorten tijdsplanningen, --die niet alleen bestaan uit activiteiten die kop-staart zijn geschakeld--, op betrouwbaarheid worden geanalyseerd.

Tot slot herbergt de rekenmethode zowel mogelijkheden om de kosten van de fase van uitvoering nauwkeurig te ramen alsook mogelijkheden om op een hoger (beleids)niveau analyses uit te voeren met betrekking tot de kwaliteit van de voorbereiding. Dit betreft voornamelijk de projectbeheersaspecten tijd, geld, en kwaliteit.

Nawoord

De opgezette, geïmplementeerde methode hoeft niet beperkt te blijven tot de fase van uitvoering van het project. Zelfs niet tot projecten in de GWW-sector. Als vanaf het aanvangsstadium van projecten de gevolgde systematiek, beschreven onder andere in *figuur 3.1 en 4.11*, consequent wordt aangehouden zal de kwaliteit van de invoergegevens verbeteren waardoor analyses betrouwbaarder worden. Ook zal het uitvoeren van risico-analyses bij de planning van projecten deelnemers dwingen tot overpeinzing, communicatie en acceptatie van risico's, resulterend in een meer verantwoorde besluitvorming.

Het feit dat risico's niet altijd eenvoudig te kwantificeren zijn, is geen gegronde reden om risico-analyses af te wenden. Immers, een risico dat niet te kwantificeren is, zou niet mogen worden gelopen.

Zowel bij opdrachtgevers, adviseurs als aannemers is er een grote behoefte geconstateerd aan een rationele manier van omgaan met onzekerheden. De deelnemers aan projecten zullen het nut van risico-analyse, als toepassing bij het plannen van projecten, pas oprecht onderkennen als de resultaten van de analyse helder worden gepresenteerd.

Gezien de bestaande vraag naar het inzichtelijk willen maken van onzekerheden bij de voorbereiding van bouwprojecten alsmaar toeneemt, de nog jonge geschiedenis en de grote mogelijkheden die dit gecombineerde vakgebied aanbiedt, ligt het in de lijn der verwachtingen dat deze techniek een stormachtige ontwikkeling en grote toekomst tegemoet gaat.

Begrippenlijst

contingency-planning

is het doelbewust treffen van noodvoorzieningen voor geobserveerde risico's. Hiertoe behoren zowel het opnemen van posten onvoorzien in budget en tijdschema, als het voorbereiden van noodprogramma's, alternatieve strategieën, flankerende maatregelen, voor het geval het risico zich openbaart.

doorlooptijd

de tijdsduur benodigd om een activiteit te voltooien. In deze studie wordt dat ook wel uitvoeringsduur of tijdsduur van de activiteit cq. fase genoemd.

droge infrastructuur

hiermee worden werken aangeduid die voornamelijk met de wegenbouw of het werken met grond te maken hebben. Gedacht moet worden aan verhardingswerken (wegen, rijbanen, platformen) en het verwerken van grond en aanverwante materialen (grondlichamen, -constructie's, dijken, waterkeringen, riolen).

Airside

bedrijfseenheid van de N.V. Luchthaven Schiphol die zich voornamelijk bezighoudt met de afwikkeling van het luchtverkeer. Ook de constructies (start- en rijbanen, platformen) die hiervoor benodigd zijn vallen onder de verantwoordelijkheid van deze bedrijfseenheid.

Landside

bedrijfseenheid van de N.V. Luchthaven Schiphol die zich voornamelijk bezighoudt met de afwikkeling van het landverkeer. Ook de constructies (voorrijwegen, parkeervoorzieningen en gebouwenbeheer) die hiervoor benodigd zijn vallen onder de verantwoordelijkheid van deze bedrijfseenheid.

Mainport

letterlijk: hoofdtoegangsweg. Knooppunt waar diverse verkeers- en vervoersstromen bij elkaar komen. Schiphol wil tot één van de vier grootste in Europa behoren.

mathematisch rekenmodel

dat deel van de **planning** dat de samenhang en uitvoeringsvolgorde der activiteiten beschrijft en waarmee de tijdsduur van de uitvoering berekend kan worden. Het mathematisch rekenmodel houdt expliciet rekening met de diverse afhankelijkheden/relaties van activiteiten.

netwerkplanning (soorten: P.E.R.T., C.P.M., P.D.M.)

vormen van planning waarbij de activiteiten in een netwerk worden weergegeven. Voor de activiteiten zijn er zaken als doorlooptijden, eerste/laatste start- en einddata aan te geven. Het aanduiden van activiteiten en relaties gebeurt meestal op de volgende twee manieren:

* in diagrammen worden de activiteiten door pijlen en het einde van een

- * activiteit of gebeurtenis door cirkels aangegeven (activity on the arrow).
of de activiteit wordt als cirkel of rechthoek voorgesteld en de gebeurtenis door een pijl (activity on the node).

Merk op dat dit nog wel steeds "statische" vormen van planning zijn.

overschrijdingskromme

ook wel **waarschijnlijkheidsverdeling** of kansverdelingsfunctie genoemd is een statistisch begrip dat het gedrag van een variabele (stochast) beschrijft. De overschrijdingskromme verloopt van nul (voor de minimale waarde van de stochast) tot één (voor de maximale waarde van de stochast)

probabilisme

leer dat met onderzoek niet meer dan waarschijnlijkheid te bereiken is. Onderdeel van de betrouwbaarheidsanalyse. Bij de **probabilistische benadering** gaat men niet uit van één deterministische waarde, maar worden de grootheden meestal weergegeven door een gemiddelde (μ) en een spreiding rond dit gemiddelde, genaamd sigma (σ).

plannen

het in kaart brengen van de grootheden kwaliteit, geld, tijd, informatie, organisatie en de onderlinge samenhang van deze grootheden teneinde een eerder vooropgesteld streven te verduidelijken/onderbouwen. Het plannen gebeurt tegenwoordig vaak met behulp van diverse **planningstechnieken**.

planningstechnieken

methoden om een plan gestalte te geven. Tegenwoordig gebeurt dit vooral aan de hand van computerprogramma's waarmee er diverse planningen zijn te maken als tijd-schema's, cash-flow schema's, grondstoffenplanningen, etc. Veel voorkomende technieken zijn netwerktechnieken en balkenschema's.

planning

daar wordt in deze studie mee bedoeld het plaatje\schema\overzicht dat de bereikte afstemming weergeeft tussen de grootheden tijd, geld en kwaliteit.

projectbeheersaspecten

kunnen voor ieder project anders zijn afhankelijk van de prioriteiten in het beleid. De meest voorkomende projectbeheersaspecten zijn terug te brengen tot de grootheden tijd, geld en kwaliteit. Deze moeten beheerst, in de hand gehouden, worden door de project-leiding.

risico-management

hieronder wordt verstaan het bewust onderkennen, analyseren en beheersen van onzekerheden en risico's, gedurende de projectlevensverloop, met als doel de kans op een succesvolle realisatie van het project te verhogen

Literatuurlijst

Altvorst van

Handboek voor de Netwerkplanner

Anderson, H.P.

Statistiek en Kans

Baardwijk van, B.H.H.

Risico's: Risicovol of niet?

Bedrijfseenheid Airside Schiphol

Project ontwikkelingsplan Airside 1994-2004

Bennett

Critical Path Precedence Networks

Blommaert en Blommaert

Bedrijfseconomische analyses

Findlay en William

Gestructureerd Programmeren

Fishman

Concepts and methods in discrete event digital simulation

Groeneboom, P.

Data-analyse en statistische modelvorming

Harris

Precedence and Arrow Networking Techniques

Heins, W.

Kwantitatieve aspecten van de bedrijfsleer, bb6 dictaat

Hertz, D. en Thomas, H.

Risk Analyses and its Applications

Horonjeff, R. en Mc Kelvey, F.

Planning and design of Airports

Johanns, R.D.

Referentie Handleiding CRTWIN unit

Lange de, S.J.

Kansrekening en Statistiek

Lieberman, H.

Introduction to Operations Research

Kivi, Symposiumboek TU-Delft

Toegepaste Risico-analyse, waar determinisme te kort schiet

Konvalina en Wileman

Programming with Pascal

Mellis, B. en Wamelink, J.W.F.

Production control in construction

Mooibroek, B.

Bepaling van het verlet bij cutterzuigers

O'Brien

CPM in Construction Management

Oorschot van, H.

Operationele analyse en Risico analyse, dictaat a104

PBS

Projectmatig werken

Polak, B.M.

Functioneel ontwerpen, bb25 dictaat TU-Delft

Rip, J.

Internationale bouwkostenvergelijking in de GWW (PRC)

Schouls, A.

Risico-analyse in de bouw, afstudeerverslag C.T., TU-Delft

Smook, R.A.F.

Organisatie van het bouwen, bb20 dictaat TU-Delft

Vermande, H.M.

Risico-management en risico-analyse bij IR-bureau NS (PRC)

Vrijling, J.K., Rijkswaterstaat en TU-Delft

Spelen met kansen, cursusboek Infrastructuurplanning Rijkswaterstaat

Vrijling, J.K. en Vrouwenvelder, A.C.W.M.

Probabilistisch ontwerpen, b3 dictaat TU-Delft

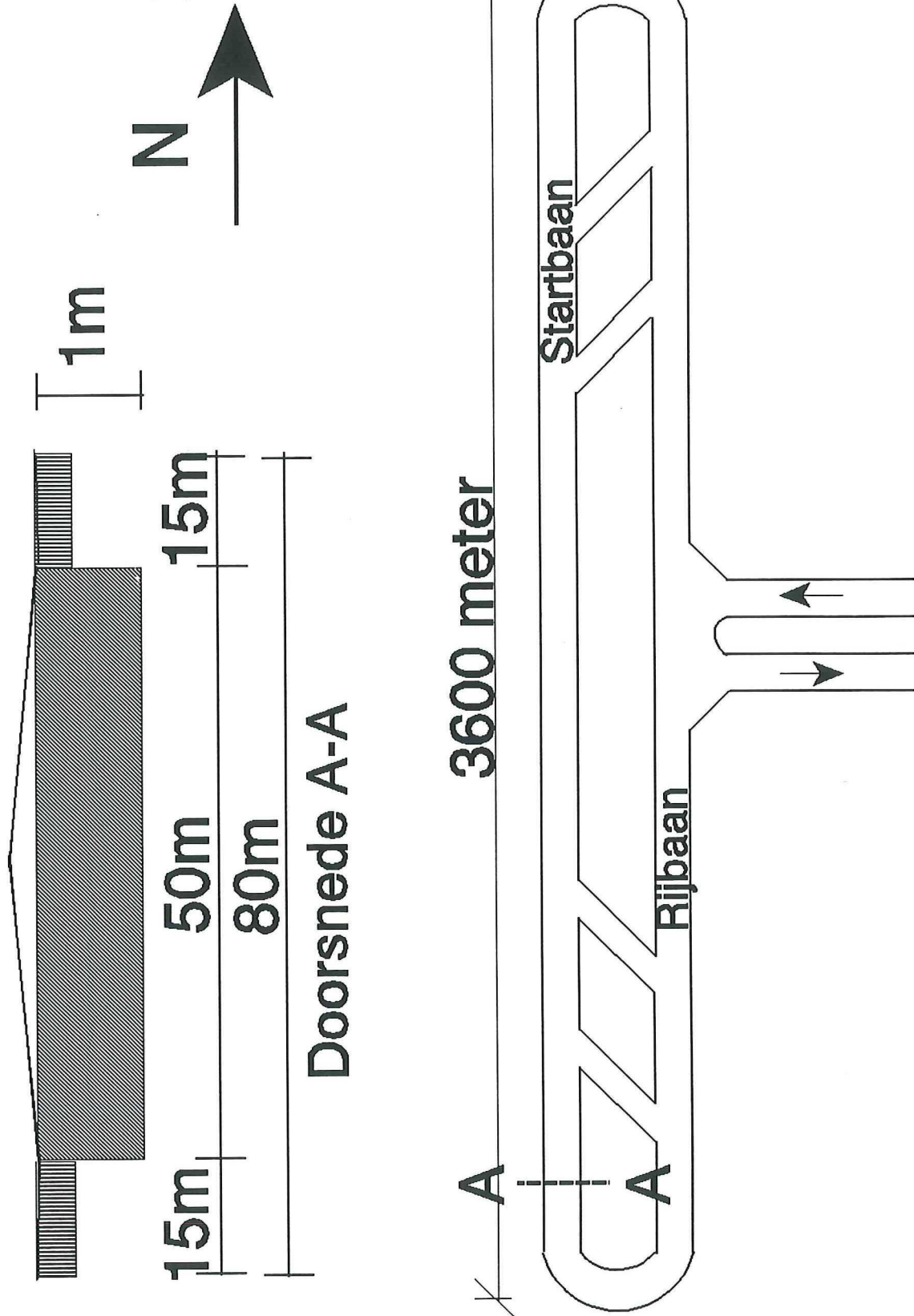
Wijnen, G., Renes, W. en Storm, P.

Projectmatig werken

Bijlagen

1	Project FICTION	99
2	Handleiding PROBABILISTIC TIME-ESTIMATOR	107
3	Opbouw verhardingsconstructies op de luchthaven Schiphol	115
4	Overzicht werkbare werkdagen	117
5	Listing PTE	indien gewenst, op aanvraag verkrijgbaar

Situatieschets project FICTION



BIJLAGE 1: Het project Fiction

Het project Fiction is een voorbeeld dat uitsluitend tot doel heeft de werking van het kwantitatieve rekenmodel PROBABLISTIC TIME-ESTIMATOR, het praktisch ontwikkelde risico-analyse middel, te illustreren. Verwezen wordt ook naar 2.4, *Intermezzo: Het project FICTION en naar 4.6, Een toepassing: Het project FICTION.*

Het project bestaat uit twee deelprojecten, te weten:

- * de renovatie van de startbaan NORTH-SOUTH, lengte 3500 meter, breedte baan 50 meter, schouders 2x15 meter, totale baanbreedte 80 meter.
- * het verbeteren van de aanliggende rijbaan, gegevens idem.

Het management van dit project vraagt zich af hoe betrouwbaar deze planning is met in acht neming van de eerder vastgestelde onzekerheden (zie invoergegevens, blz. 103). Wegens de tijdsbelangen van dit project wordt een betrouwbaarheids-eis van 80% gesteld aan de planning en is men verder geïnteresseerd naar de mate van uitloop indien er toch vertraging optreedt. Tevens wil men weten welke activiteit(en) hoofdvantwoordelijk voor de vertragingen moet(en) worden geacht en wat de meest effectieve maatregel(en) is (zijn) die getroffen kan worden om het uitloop-risico te reduceren.

Grofweg zijn er tien "kritieke activiteiten" te onderscheiden (A1 t/m A10) en vier paden (P1 t/m P4). Zowel de werkzaamheden rond de startbaan als de rijbaan vangen gelijktijdig aan. Het renoveren van de startbaan gebeurt door het volbrengen van de activiteiten 1 tot en met 5. Het verbeteren van de Rijbaan gebeurt door het volbrengen van de werkzaamheden 6 tot en met 10. Hieronder volgt een korte omschrijving van de activiteiten en de door betrokken partijen ingeschatte onzekerheden die per activiteit zijn vastgesteld.

1 demonteren baanonderdelen startbaan
















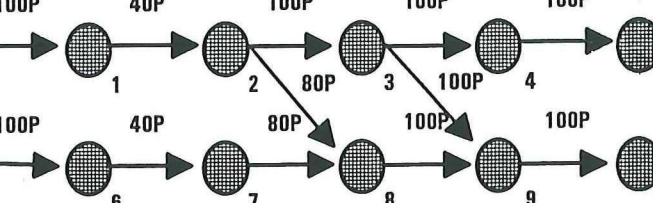
Alvorens met de daadwerkelijke renovatie kan worden begonnen moeten diverse baanonderdelen worden gedemonteerd en gesloopt, voorzieningen worden verwijderd, elektra worden uit- en ingeschakeld, etc. Men weet niet exact de hoeveelheden en producties en schat daarom de tijdsduur van de activiteit als volgt in:

Inputgegevens

type verdeling hoeveelheid	: normale verdeling, 1
gemiddelde	: 10 dagen
standaard afwijking	: 1 dag
derde input getal	: 0
F-prod	: 1 ploeg
type verdeling produktie	: normale verdeling
gemiddelde	: 1 dag
standaard afwijking	: 0
derde input getal	: 0
# bijzondere gebeurtenissen	: 0

Uitvoeringsplanning project FICTION

UITVOERINGSPLANNING project FICTION

nr.	ACTIVITEIT	Kalender 	?
Startbaan-renovatie			
1	demonteren baanonderdelen	1 	
2	frezen toplaag	2 	
3	aanbr. verharding	3 	
4	voorzieningen en belijning	4 	
5	ET-werk en testen	5 	
Rijbaan-verbetering			
6	ontgraven	6 	
7	aanvullen	7 	
8	funderen	8 	
9	aanbr. verharding	9 	
10	voorzieningen en belijning	10 	
KRITIEKE ACTIVITEITEN		PADEN-weg waarlangs kritieke uitvoering zich kan voltrekken	
P1	1, 2, 3, 4, 5		
P2	6, 7, 8, 9, 10		
P3	1, 2, 8, 9, 10		
P4	1, 2, 3, 9, 10		
MATHEMATISCH REKENMODEL		STOCHASTISCH NETWORK	
PADDUREN			
P1	"A1 + 0.4*A2 + A3 + A4 + A5"		
P2	"A6 + 0.4*A7 + 0.8*A8 + A9 + A10"		
P3	"A1 + 0.4*A2 + 0.8*A8 + A9 + A10"		
P4	"A1 + 0.4*A2 + A3 + A9 + A10"		

2 frezen oude deklaag startbaan

Het wegfrezen van de oude, versleten deklaag geschiedt nadat de demontage van de baanonderdelen volledig is afgerond. Als het frezen van de oude toplaag (± 5 cm) uit de startbaan voor 40% is gevorderd kan worden aangevangen met:

- * (3) het aanbrengen van de verharding op de startbaan (er is hiervoor een minimale bewerkingsruimte nodig)
- * (8) het funderen van de rijbaan (met puin uit de startbaan)

Inputgegevens

type verdeling hoeveelheid	: driehoeksverdeling, 2
minimum	: 22.500 ton
top (modus)	: 24.000 ton
maximum	: 27.000 ton
F-prod	: 3 frezen
type verdeling produktie	: normale verdeling, 1
gemiddelde	: 600 ton
standaard afwijking	: 100 ton
derde input getal	: 0
# bijzondere gebeurtenissen	: 1
#1, kans 2% op uitloop 2 dagen t.g.v. verwisselen tanden/defect frees.	

3 aanbrengen verharding startbaan

De verschillende constructieve asfaltlagen worden aangebracht op de startbaan. Dit gebeurt nadat het wegfrezen van de oude toplaag (2) voor 40% gevorderd is. Als deze activiteit afgerond is worden de machines op de rijbaan ingezet.

Inputgegevens

type verdeling hoeveelheid	: driehoeksverdeling, 2
minimum	: 32.000 ton
top (modus)	: 34.000 ton
maximum	: 36.000 ton
F-prod	: 8 asfaltploegen (1 meter/min = 300M ³ /dag)
type verdeling produktie	: driehoeksverdeling, 2
minimum	: 600 ton
top (modus)	: 800 ton
maximum	: 900 ton
# bijzondere gebeurtenissen	: 2
#1,	kans 10% op uitloop 2 dagen t.g.v. slechte kwaliteit toplaag en dus overdoen.
#2,	kans 10% op uitloop 2 dagen t.g.v. extreem slecht weer dat niet door de eerder aangenomen f_w wordt afgedekt.

VOORBEELD INPUTFILE: het project FICTION

Fiction 8u/7d {project-naam,		HOEVEELHEID ↓					PRODUKTIE ↓			BYZ. GEBEURTENISSEN ↓							
triangle distribution = 2		min	top	max	inzet		min	top	max	NR. of							
normal distribution = 1		mu	sigma	none	inzet	P	mu	sigma	none	discontinue risicos							
NR.	nameofact	type	amount	amount	amount	P-value	type	amount	amount	amount	#	prob	delay	prob	delay	prob	delay
10	{number of activities}																
1	demonteren ond.	1	10	1	0	1	1	1	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	frezen deklaag	2	22.5e3	24.e3	27e3	3	1	600	100	0	1	0.02	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	aanbr. verhard.	2	32e3	34e3	36e3	8	2	600	800	900	2	0.10	2.00	0.10	2.00	0.00	0.00
4	voorz. + belijn.	2	12	14	20	1	1	1	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	ET-werk + Testen	1	5	1	0	1	1	1	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	ontgraven	2	100e3	120e3	150e3	20	1	500	50	0	2	0.02	10.00	0.05	2.00	0.00	0.00
7	aanvullen	2	120e3	140e3	180e3	20	1	600	50	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	funderen	2	7	8	10	1	1	1	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	aanbr. verhard.	2	21e3	24e3	36e3	3	2	600	800	900	1	0.10	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	voorz. + belijn.	2	5	6	8	1	1	1	0	0	1	0.05	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00
act[	1 2 3		4	5	6	7	8	9	10]								
4	{aantal paden en hieronder het mathematisch rekenmodel van de planning, per pad : $Pad_i = rf_1 * A_1 + rf_2 * A_2 + .. + rf_{10} * A_{10}$ }																
1	0.99	0.40	0.99	0.99	0.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00							
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	0.40	0.80	0.99	0.99							
3	0.99	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.99	0.99							
4	0.99	0.40	0.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	0.99							

4 voorzieningen en belijningen startbaan

Het aanbrengen van navigatie-apparatuur en belijningen op de startbaan. Men weet niet goed de hoeveelheden en producties in te schatten en schat daarom de doorlooptijd als volgt in:

Inputgegevens

type verdeling hoeveelheid	: driehoeksverdeling, 2
minimum	: 12 dagen
top (modus)	: 14 dagen
maximum	: 20 dagen
F-prod	: 1 ploeg
type verdeling produktie	: normale verdeling, 1
gemiddelde	: 1 dag
standaard afwijking	: 0 dagen
derde input getal	: 0
# bijzondere gebeurtenissen	: 0

5 ET-werk en testen startbaan

Het aanbrengen van verlichting en testen van de navigatie-apparatuur, inspectie van de baan.

Inputgegevens

type verdeling hoeveelheid	: normale verdeling, 1
gemiddelde	: 5 dagen
standaard afwijking	: 1 dag
derde input getal	: 0
F-prod	: 1 ploeg
type verdeling produktie	: normale verdeling, 1
gemiddelde	: 1 dag
standaard afwijking	: 0
derde input getal	: 0
# bijzondere gebeurtenissen	: 0

6 ontgraven cunet rijbaan

Het ontgraven van een nieuw cunet, verwijderen oude funderingslaag en aanwezige slappe grond (± 80 cm diepte).

Inputgegevens

type verdeling hoeveelheid	: driehoeksverdeling, 2
minimum	: 100.000 m ³
top (modus)	: 120.000 m ³
maximum	: 150.000 m ³
F-prod	: 20 graafploegen, elk 150 meter rijbaan
type verdeling produktie	: normale verdeling, 1
gemiddelde	: 500 m ³
standaard afwijking	: 50 m ³

derde input getal	: 0
# bijzondere gebeurtenissen	: 2
#1	kans 2% op uitloop 10 dagen t.g.v. aantreffen bom tijdens ontgraven.
#2	kans 5% op uitloop 2 dagen t.g.v. aantreffen zeer slappe grond, waardoor extra maatregelen nodig zijn voor kunnen gebruiken van graafmachines.

7 aanvullen cunet rijbaan

Het aanvullen van het ontgraven cunet met zand, het verrichten van grondverdichtingen, aanbrengen van zand-cement stabilisaties. Als het aanvullen voor 40% is gevorderd kan begonnen worden met (8): het aanbrengen van de fundering van de rijbaan.

Inputgegevens

type verdeling hoeveelheid	: driehoeksverdeling, 2
minimum	: 120.000 m ³
top (modus)	: 140.000 m ³
maximum	: 180.000 m ³
F-prod	: 20 graafploegen
type verdeling produktie	: normale verdeling, 1
gemiddelde	: 600 m ³
standaard afwijking	: 50 m ³
derde input getal	: 0
# bijzondere gebeurtenissen	: 0

8 funderen nieuwe rijbaan

Het funderen van de rijbaan gebeurt met onder andere puin dat van de startbaan afkomstig is (2). Als het funderen van de rijbaan voor 80% gevorderd is kan begonnen worden met (9): het aanbrengen van de verharding van de rijbaan.

Inputgegevens

type verdeling hoeveelheid	: driehoeksverdeling, 2
minimum	: 7 dagen
top (modus)	: 8 dagen
maximum	: 10 dagen
F-prod	: 1 ploeg
type verdeling produktie	: normale verdeling, 1
gemiddelde	: 1 dag
standaard afwijking	: 0 dagen
derde input getal	: 0
# bijzondere gebeurtenissen	: 0

9 aanbrengen verharding rijbaan

De verschillende constructieve asfaltlagen worden aangebracht op de rijbaan. Dit gebeurt nadat het aanbrengen van de fundering(8) voor 80% gevorderd is of als het verharden van de startbaan is afgerond (3). De asfaltmachines van de startbaan worden

ingezet voor de verhardingswerkzaamheden op de rijbaan.

Inputgegevens

type verdeling hoeveelheid	: driehoeksverdeling, 2
minimum	: 21.000 ton
top (modus)	: 24.000 ton
maximum	: 36.000 ton
F-prod	: 3 asfaltploeg
type verdeling produktie	: driehoeksverdeling, 2
minimum	: 600 ton
top (modus)	: 800 ton
maximum	: 900 ton
# bijzondere gebeurtenissen	: 1
#1, kans 10% op uitloop 2 dagen t.g.v. slechte kwaliteit topklaag.	

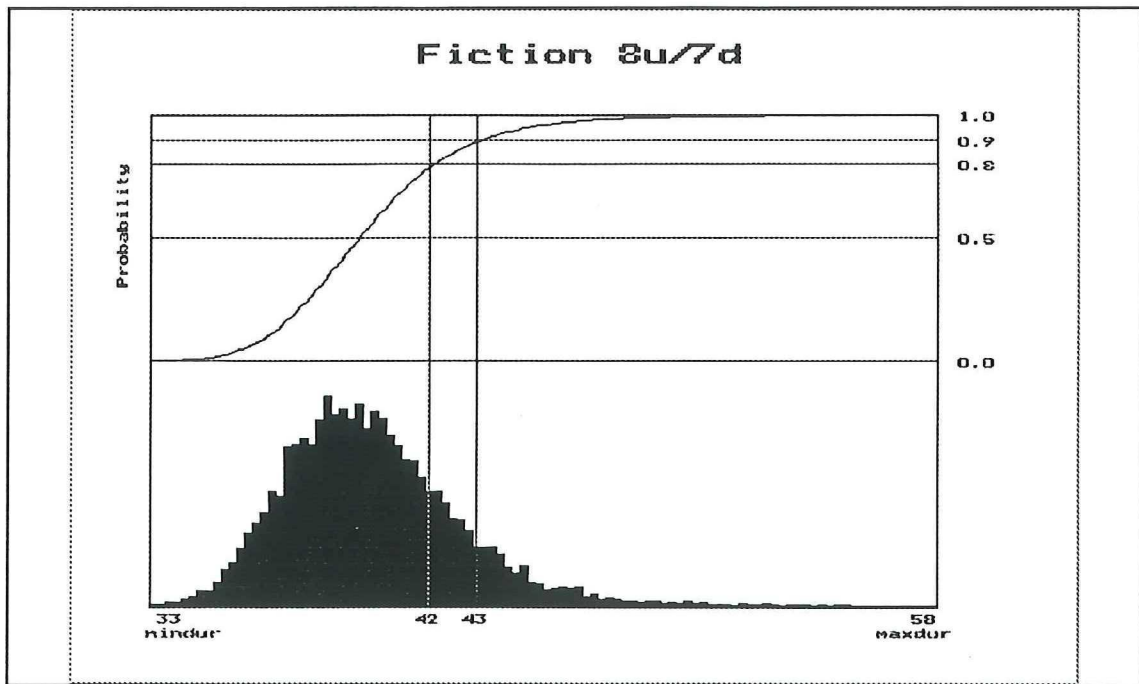
10 voorzieningen en belijning rijbaan

Het aanbrengen van navigatie-apparatuur en belijningen op de rijbaan.

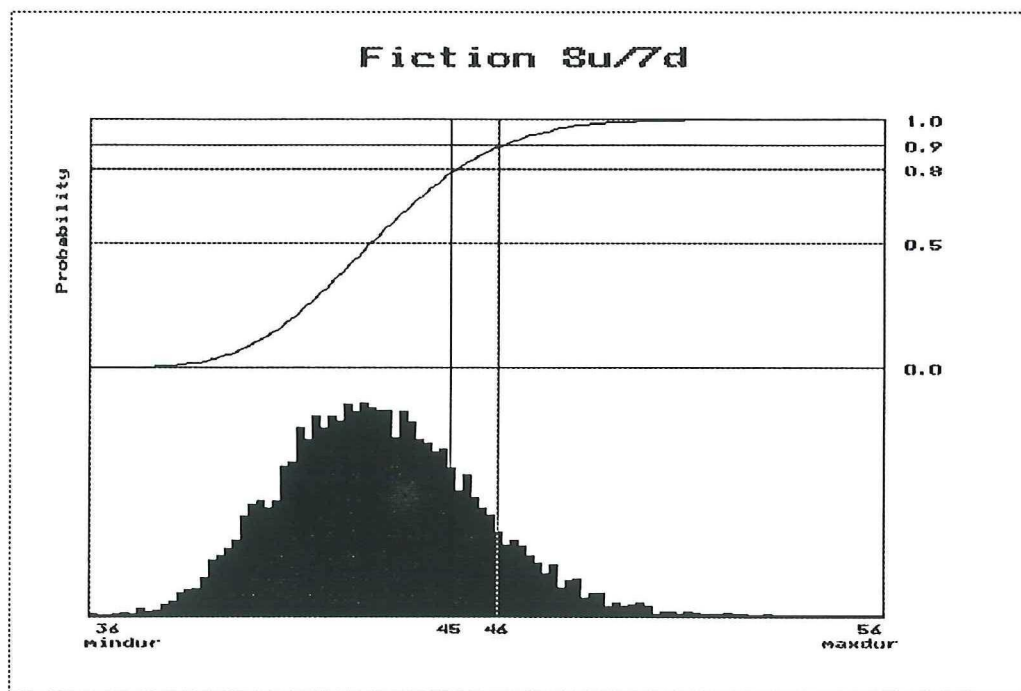
Inputgegevens

type verdeling hoeveelheid	: driehoeksverdeling, 2
minimum	: 5 dagen
top (modus)	: 6 dagen
maximum	: 8 dagen
F-prod	: 1 ploeg
type verdeling produktie	: normale verdeling, 1
gemiddelde	: 1 dag
standaard afwijking	: 0 dagen
derde input getal	: 0
# bijzondere gebeurtenissen	: 1
#1, kans 5% op uitloop 4 dagen t.g.v. voordoen testfouten.	

Voor uitwerking en resultaten wordt verwezen naar 4.6 "Een toepassing: Project FICTION".

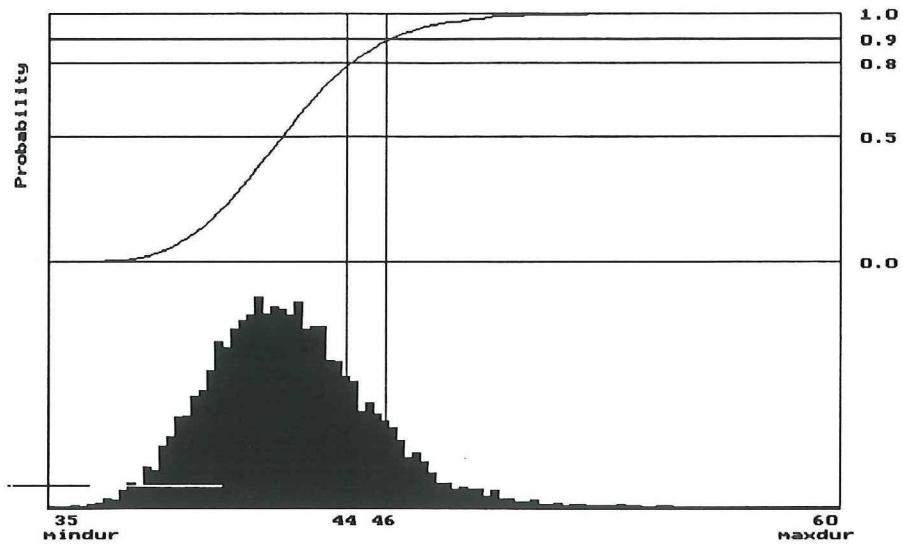


KDF en kansverdeling uitvoeringsduur project FICTION na M4-10

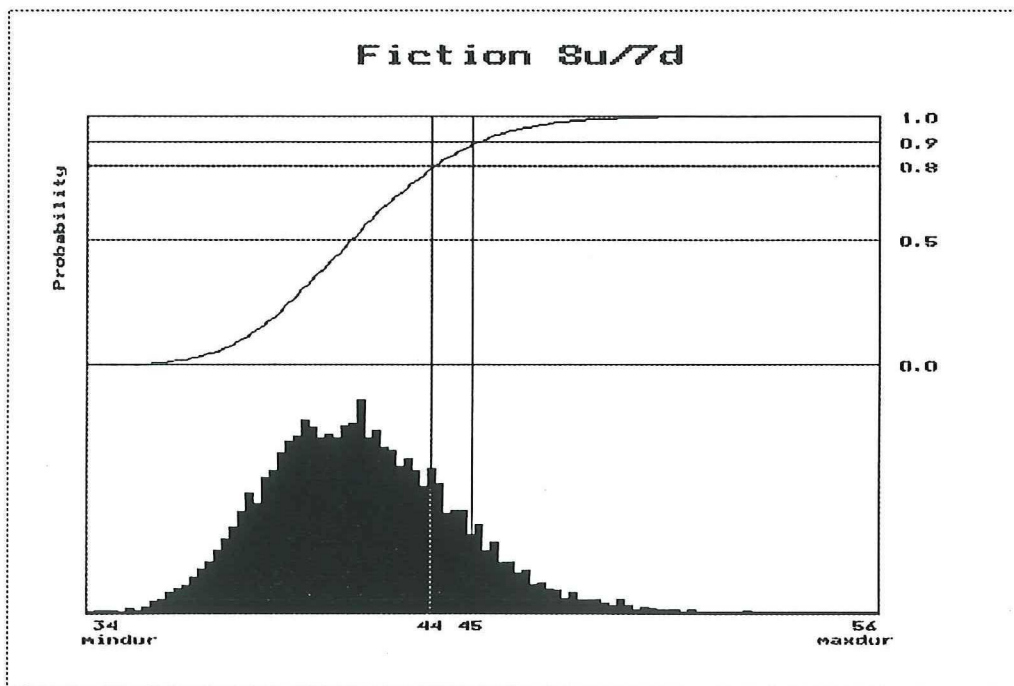


KDF en kansverdeling uitvoeringsduur project FICTION na M6-B

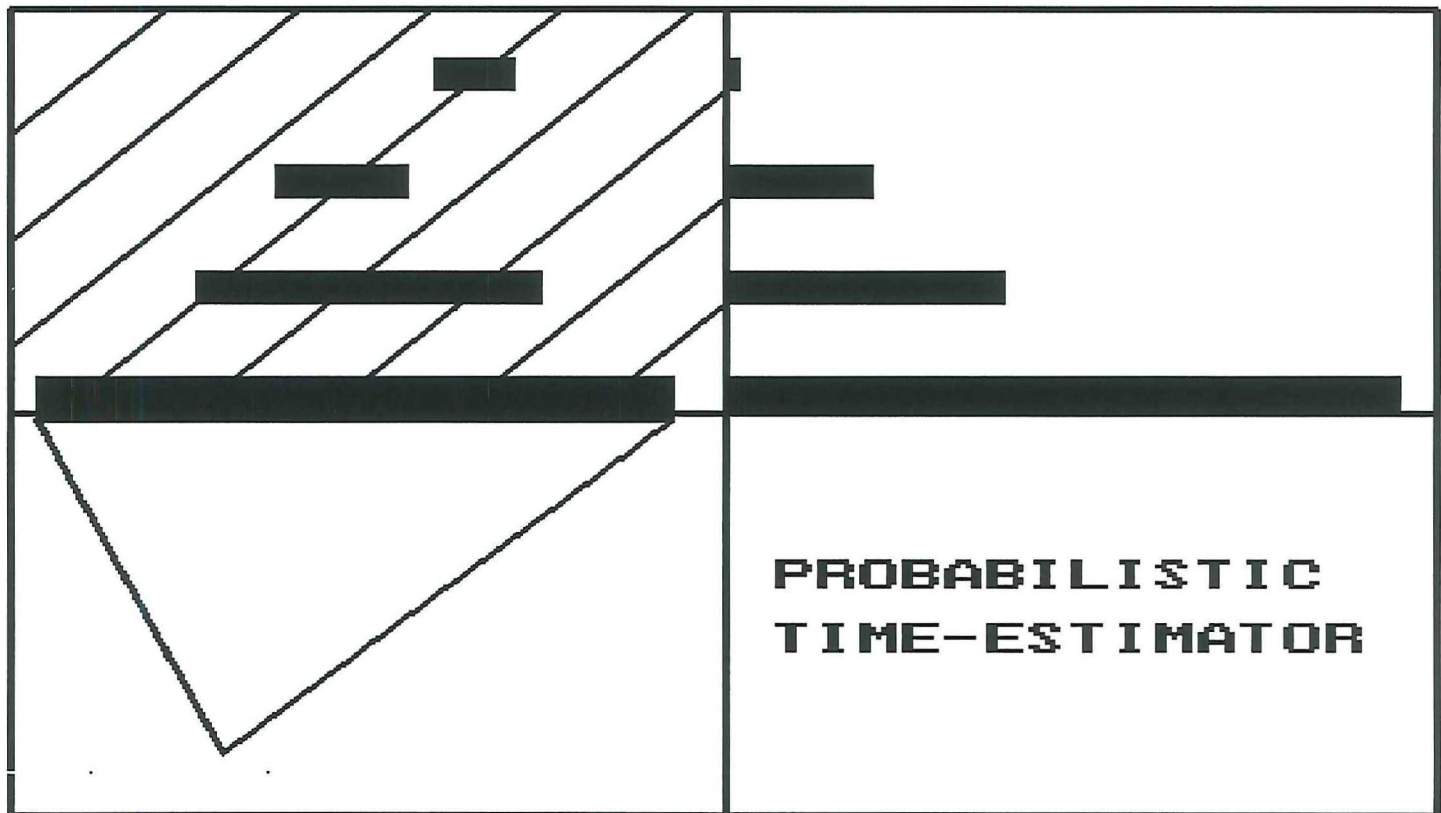
Fiction 8u/7d



KDF en kansverdeling uitvoeringsduur project FICTION na M6-P



KDF en kansverdeling uitvoeringsduur project FICTION na M9-P



**PROBABILISTIC
TIME-ESTIMATOR**

Written by MARC SPALBURG
Fac. of Civil Engineering
Techn. Univ. Delft
(c) 1994

**MAINMENU
PROBABILISTIC
TIME-ESTIMATOR**

- 1 Use inputfile**
- 2 Activity input**
- 3 Relation input**
- 4 Path inspection**
- 5 Total project duration**
- 6 Cost estimation**
- 7 Exit**

CHOICE :

Written by MARC SPALBURG
Fac. of Civil Engineering
Techn. Univ. Delft
(c) 1994

Handleiding bij PROBABILISTIC TIME-ESTIMATOR (PTE)

I Woord vooraf

PROBABILISTIC TIME-ESTIMATOR is een computer-programma waarmee het mogelijk is de betrouwbaarheid van een planning door middel van simulatie te toetsen dan wel de basis voor een betrouwbare planning te vervaardigen.

Het unieke aan dit programma is dat:

- * een hele planning kan worden gesimuleerd. Dit houdt in dat er meerdere paden tegelijkertijd kunnen worden ingevoerd en doorgerekend; het programma kiest het maximum van de tijdsduren der paden als kritieke uitvoeringsduur van het project en registreert welk pad hiervoor verantwoordelijk was. Tevens wordt de spreidingsmaat van die actuele waarneming t.o.v. de gemiddelde uitvoeringsduur bijgehouden.
- * per pad kan een analyse gemaakt worden naar de bijdragen van de activiteiten aan het pad-tijds-risico.
- * de mogelijkheid is gecreëerd om de diverse soorten van overlappen weer te geven en mee te nemen in de simulatie.
- * zowel normale onzekerheden betreffende hoeveelheids-, inzet- en produktie-fluctuaties kunnen worden gesimuleerd als bijzondere gebeurtenissen.
- * er per activiteit een indicatie is te verkrijgen van de statistische gegevens.

II Apparatuur

Geschikte apparatuur voor dit simulatie-programma zijn computers van het type 2.86 AT en hoger. Geadviseerd wordt om van het type 4.86/25 Mhz en sneller gebruik te maken. Bij invoer van 100 activiteiten en 20 paden zijn rekentijden van 10 á 20 minuten waargenomen en is de duur van enkele minuten rekentijd niet ongebruikelijk.

III Printen

Voor cijfermatige resultaten kan met de optie <SHIFT> + <PRINTSCREEN> een uitdraai van het scherm worden gemaakt.

Om een afdruk van een grafiek in grafische mode uit te kunnen printen moet deze eerst met de optie **grab.com** worden vastgelegd.

Bij WP bestaat het programma **GRAB.COM**. Hiermee kunnen kopieën van het grafische scherm gemaakt en als afbeelding in een WP document worden opgenomen.

Gebruik

Alvorens met PTE aan de slag gegaan wordt, dienen alle programma's die

momenteel draaien beëindigd te worden en moet naar DOS worden teruggegaan. Typ achter de DOS prompt: cd\f:\prog\wp51 (of een andere directory waarin de GRAB.COM staat, of kopieer eerst GRAB.COM naar uw default directory.)

Type in: **grab /m/d = dirnaam**
 m geeft aan dat er een monochroom plaatje gemaakt wordt
 dirnaam is de volledige naam van de directory waar het plaatje naar toe gaat.

Het eerste bestand dat aangemaakt wordt krijgt de naam GRAB.WPG
Als dit bestand al bestaat wordt de naam GRAB1.WPG en zo verder.

Ga terug naar uw applicatie, in dit geval PTE. Als u nu een kopie van het scherm in grafische mode wil hebben, dus van de kansdichtheids- en kansverdelingsfunctie, drukt u tegelijkertijd op:

<SHIFT> + <ALT> + <F9>

Er verschijnt een kader op het scherm. Dit kan verplaatst worden met de cursortoetsen. Vergroten of verkleinen gaat met de <SHIFT> + cursortoetsen. Als het kader voldoet, druk dan op <ENTER>. Extra informatie krijgt u met : GRAB/H.

In WP, kan dit plaatje binnen gehaald worden met behulp van

<ALT> + <F9> en vervolgens met

Afbeelding/Aanmaken/Bestandsnaam/dirnaam:GRABx.WPG

Bij de meeste plaatjes is het handig om het beeld te wijzigen naar invers-video (zie optie 9.4, **inverteer aan**). Ook kunt u zelf het formaat en de plaats nog opgeven.

IV Opstarten

Om het programma op te starten toets u in: PTE.exe

Aan de hand van het menu van het programma zal worden uitgelegd hoe het programma gebruikt kan worden.

1 Use inputfile

Toets: 1 of U

Deze optie geeft de mogelijkheid om een geprepareerde inputfile, als abstract van een planning, in te voeren ter controle. In de inputfile zijn de gegevens van een bepaald project opgenomen die het programma per regel inleest. Een voorbeeld van een inputfile is eerder opgenomen met daarin weergegeven wat, er waar, in de inputfile hoort te staan. Op de vraag:

2 Activity input

Toets: 2 of A

Activity input werkt op twee manieren.

Indien u gebruikt maakt van een inputfile

Bij gebruik van een inputfile zal een overzicht van de activiteiten worden aangeboden zoals die in de file zijn opgenomen voor simulatie. Uit deze lijst kan een willekeurige activiteit, door middel van zijn nummer, worden opgevraagd waarvan de invoer kan worden bekeken. Eventueel kan de getoonde informatie worden gewijzigd. Er kan per activiteit een berekening worden gemaakt van de statistische gegevens gemiddelde, minimale en maximale duur, de standaardafwijking, variantie en de variatie-coëfficiënt. Indien nodig kan van de grafiek een schermkopie gemaakt worden met de grab.com optie.

Indien u geen gebruik maakt van een inputfile

Indien u geen gebruik maakt van een inputfile gaat het programma ervan uit dat u een nieuw project wil analyseren en zal de volgende gegevens vragen, te weten:

- naam van het project
- aantal activiteiten voor simulatie
- namen van de activiteiten
- aantal paden voor simulatie

Als u deze gegevens hebt ingevoerd kunt u nu de gegevens bekijken waarbij uiteraard de inputgrootheden allen nul zullen zijn. De mogelijkheid bestaat om deze waarden te veranderen in de gewenste waarden voor de grootheden hoeveelheid, produktie en inzetfactor. Ditzelfde is mogelijk voor de discrete risico's waarvan het aantal, de kansen en de gevolgen kunnen worden gewijzigd. Raadzaam is het om in een editor de inputfile eerst te bewerken voordat met de simulatie begonnen wordt.

Voor cijfermatige resultaten kan met de optie <SHIFT> + <PRINTSCREEN> een uitdraai worden gemaakt. Om de grafiek uit te draaien moet deze met de grab.optie worden vastgelegd. <SHIFT> + <ALT> + <F9>, zie deel III printen.

3 Relation input

Toets: 3 of R

Voor elk pad kan worden nagegaan welke activiteiten deel uit maken van dit pad en hoe deze activiteiten met elkaar samenhangen; de opgegeven relaties. Eventueel kunnen deze relaties worden gewijzigd.

Overlappen aangeven kan op de volgende manieren:

Overlappen aangeven d.m.v. percentages

Door middel van een percentage, kan de overlap tussen twee activiteiten worden weergegeven. Pas als de activiteit A_i voor het percentage p_i gevorderd is, kan pas worden aangevangen met de volgende activiteit. Dit type technische afhankelijkheid komt vaak voor doordat er grondstof af- en of aangevoerd moet worden, er ruimte tussen de machines nodig is voor arbeid (aanvoer/afvoer, ontgraven, aanvullen, verharden en belijnen), of omdat productiesnelheden van deelbewerkingen niet gelijk zijn waardoor een bepaalde bewerking en daarmee een produktie-eenheid stil kan komen te liggen.

Een kop staart relatie van A en B wordt dus met; 100% van A af voordat met B begonnen kan worden, aangegeven. In de programmatuur zijn voorbeelden opgenomen.

Overlappen aangeven d.m.v. dagen

Een ander type relatie is die waarbij een vast aantal dagen van activiteit A_i moet zijn versterken voordat met de volgende activiteit kan worden begonnen (bijvoorbeeld 5 dagen verharden van beton, voordat...). De op te geven relatie is nu: het aantal dagen d van activiteit A_i dat af moet zijn eer er met de volgende activiteit kan worden begonnen.

4 Path inspection

Toets: 4 of P

Met deze optie kan een opgegeven pad worden geanalyseerd. Van het pad worden de statische gegevens berekend alsook de aandelen van de activiteiten in de pad-spreiding. Van de activiteiten gelegen op dit pad kan ook statische informatie worden ingewonnen.

Voor cijfermatige resultaten kan met de optie <SHIFT> + <PRINTSCREEN> een uitdraai worden gemaakt. Om de grafiek uit te draaien moet deze met de grab.optie worden vastgelegd. <SHIFT> + <ALT> + <F9>, zie deel III printen.

5 Total project duration

Toets: 5 of T

Met deze optie kan de totale duur van het project worden gesimuleerd. De statische gegevens van de uitvoeringsduur worden berekend. Tevens krijgt u een indruk van de waarschijnlijkheid van optreden per pad.

Voor cijfermatige resultaten kan met de optie <SHIFT> + <PRINTSCREEN> een uitdraai worden gemaakt. Om de grafiek uit te draaien moet deze met de grab.optie worden vastgelegd. <SHIFT> + <ALT> + <F9>, zie deel III printen.

6 Total Cost estimation

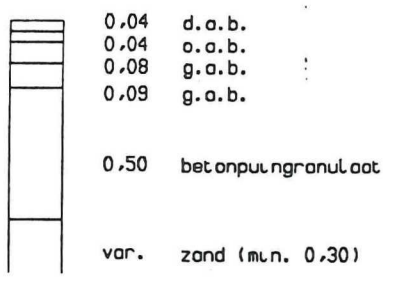
Nog niet operationeel.

7 Exit

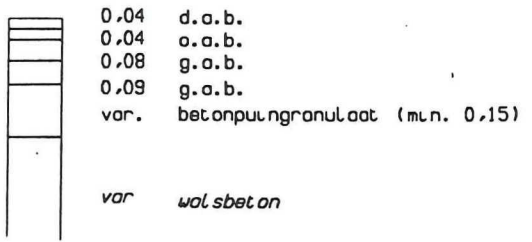
Toets: 7 of E

U verlaat het programma. Als u de gebruikte gegevens wilt opslaan kan dat door de gegevens naar een directory en filenaam weg te schrijven. Indien gewenst kunt u ook terug keren naar het hoofdmenu.

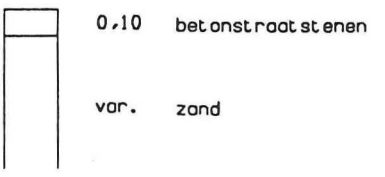
RIJBANEN NIEUWBOUW



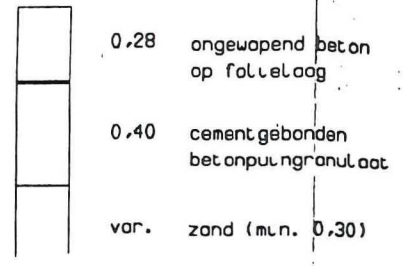
A* RIJBANEN RENOVATIE



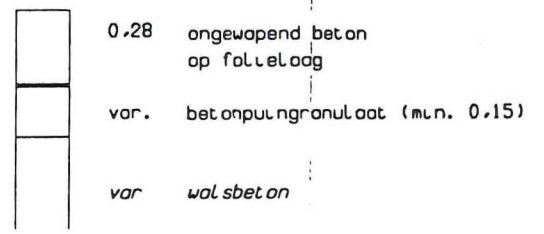
D RANDSTROOK



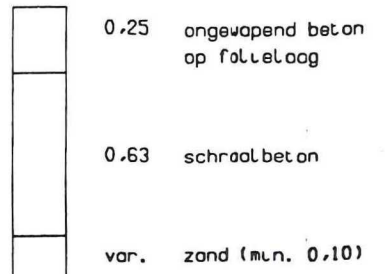
PLATFORMEN NIEUWBOUW



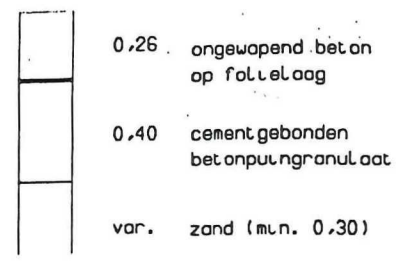
B* PLATFORMEN RENOVATIE



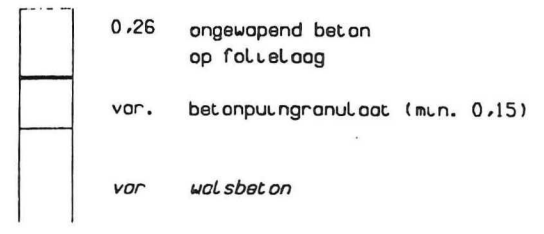
E VERZWAARDE RANDSTROOK (PUSH-BACK OPSTELPLAATS)



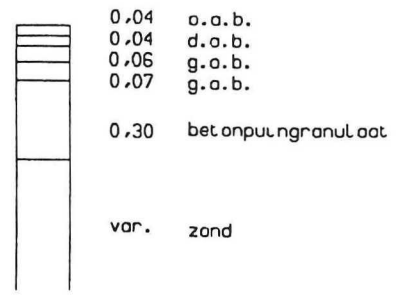
C PLATFORMEN NIEUWBOUW



C* PLATFORMEN RENOVATIE



F RANDWEG



archief no. 147886

TE MAKEN VERHARDINGSCONSTRUCTIES II ALG.

Risico-analyse in de GWW-sector Bilagen

WERKBARE WERKDAGEN GROND-, WEG-, EN WATERBOUW

MAAND VERLET	KUSTGEBIED		BINNENLAND	
	INCLUSIEF	EXCLUSIEF	INCLUSIEF	EXCLUSIEF
JANUARI	8	12	8	9
FEBRUARI	7.5	12	7	8
MAART	14	17	16.5	17
APRIL	14.5	16	15	15
MEI	17.5	19	19	19
JUNI	16	18	18	18
JULI	17.5	20	20	20
AUGUSTUS	17.5	20	20	20
SEPTEMBER	14.5	18	17	17
OKTOBER	18	22	21	22
NOVEMBER	14	18.5	18	18.5
DECEMBER	11	13	11	12
TOTAAL	170	204.5	190	195.5
GEMIDDELD	14.2	17	15.8	16.3

OPMERKINGEN

WERKBARE WERKDAGEN ZIJN DAGEN DIE
OVERBLIJVEN NA AFTREK VAN FEEST-, ROOS-
TERVRIJE- EN VERPLICHTE DAGEN

VORST-, REGEN- EN WINDVERLET

BOUWVAKANTIE NOG NIET VERWERKT IVM
VAKANTIESPREIDING DRIE REGIO'S

HOOFDSTUK

GEBRUIKSAANWIJZING

ONDERSCHEID KUSTGEBIED/BINNENLAND

NUMMER

1.3

Uit: kengetallen GWW-sector, Marc Spaalburg PRC/schiphol