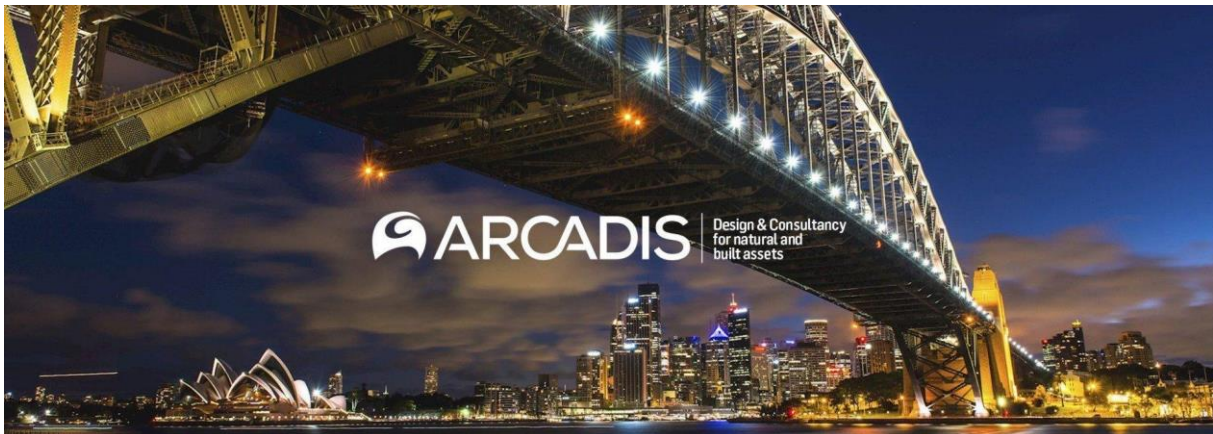


UNIVERSITY OF TWENTE

Bachelor scriptie

FACULTY OF BEHAVIOURAL, MANAGEMENT
AND SOCIAL SCIENCES

INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT



EEN NIEUWE PLANNINGSMETHODE EN DE IMPACT OP PLANNINGSMANAGEMENT

De toegevoegde waarde van een probabilistische benadering

STUDENT

D. DE BONT – UNIVERSITY OF TWENTE
S1606190

SUPERVISORS

DR. M.C. VAN DER HEIJDEN – UNIVERSITY OF TWENTE

DR. P.C. SCHUUR – UNIVERSITY OF TWENTE

IR. M. BREEDIJK – ARCADIS B.V.

COLOFON

Titel:

EEN NIEUWE PLANNINGSMETHODE EN DE IMPACT OP PLANNINGSMANAGEMENT

De toegevoegde waarde van een probabilistische benadering

Datum van publicatie: April 2020

Locatie: Amersfoort

Auteur: Diederik de Bont
S1606190
D.debont@student.utwente.nl

Studie: BSc Industrial Engineering & Management

Arcadis Nederland B.V.
Piet Mondriaanlaan 36
3812 GV, Amersfoort
The Netherlands

Begeleider Arcadis Nederland B.V.
MSc. M. Breedijk
Adviseur projectbeheersing

University of Twente
Drienerlolaan 5
7422 NB, Enschede
The Netherlands

Eerste begeleider University of Twente
Dr. M.C. van der Heijden

Tweede Begeleider
Dr. P.C. Schuur

VOORWOORD

Voor u ligt mijn Bachelor scriptie aan de Universiteit Twente, “Een nieuwe planningsmethode en de impact op planningsmanagement”. Het onderzoek richt zich op het analyseren van het huidige planningsmanagement van Arcadis.

Tijdens mijn Bachelor, Industrial Engineering and Management, volgde ik twee minors Civiele Techniek. Hierdoor ben ik op het idee gekomen om deze twee vakgebieden in mijn Bachelor onderzoek te combineren. In de periode van december 2019 tot en met maart 2020 heb ik bij Arcadis, een internationale ontwerp- en adviesbureau, aan dit onderzoek gewerkt.

Graag wil ik in het voorwoord van de gelegenheid gebruik maken om mijn begeleiders en collega's van Arcadis te bedanken. Maurice Breedijk trad op als begeleider van Arcadis, de afdeling projectmanagement. Deze afdeling is verantwoordelijk voor het verstrekken van managementinformatie. Ik heb genoten van de samenwerking met alle partijen die betrokken waren bij mijn onderzoek en de kansen die Arcadis mij bood gedurende mijn onderzoek.

Verder wil ik mijn begeleider van de Universiteit Twente, Matthieu van der Heiden, bedanken voor zijn kritische feedback en suggesties.

Tot slot, gaat mijn dank uit naar mijn vader voor het bieden van steun en het geven van advies.

Ik wens u veel in het lezen van mijn Bachelor thesis.

Diederik de Bont

Enschede, Maart 2020

- Deze pagina is bewust leeg gelaten -

MANAGEMENT SAMENVATTING

Arcadis, een ingenieursbureau dat grote Grond-, Weg- en Waterbouw projecten uitvoert, wil het planningsmanagement van haar projecten verbeteren. Planningsmanagement richt zich binnen het projectmanagement op het beheersen van de doorlooptijd van projecten.

Probleemanalyse

Het kernprobleem van dit onderzoek is dat de kwaliteit van het planningsmanagement binnen Arcadis laag is, omdat doorlooptijden van activiteiten binnen een project niet eenduidig bepaald worden. Verschillende actoren aanleveren data aan waarbij zij op verschillende wijzen aannames maken bij het bepalen van de meest waarschijnlijke doorlooptijd. Daarnaast worden onzekerheden en risico's niet meegenomen in de huidige planningsmethode, de deterministische methode. Dit terwijl er in de Arcadis projecten in toenemende mate onzekerheden en risico's voorkomen. Arcadis wil de kwaliteit van het planningsmanagement verbeteren en een planningsmethode waarin onzekerheden en risico's integraal worden meegenomen om de betrouwbaarheid van de planning te verhogen.

Theoretisch kader

In het literatuuronderzoek zijn de verschillende vormen van project onzekerheden gecategoriseerd in beslissings-, spreidings-, gebeurtenis- en systemische onzekerheid. Vervolgens zijn verschillende planningsmethoden met elkaar vergeleken op hoe zij deze onzekerheden verwerken in de planning. Hierbij zijn de Last Planner Systems, de Critical Chain projectmanagement en de Probabilistische Planningsmethode vergeleken. De probabilistische planningsmethode is geselecteerd, omdat in deze methode de kans uit dat de daadwerkelijke doorlooptijd kleiner of gelijk is aan een bepaalde doorlooptijd door verschillende onzekerheden statistisch op te nemen in de planning. Hierdoor levert deze methode betrouwbaardere sturingsinformatie in projecten met veel onzekerheden.

Toepassing van probabilistische planningsmethode op een Arcadis project

De probabilistische planningsmethode is naast de huidige, deterministische methode, toegepast op een Arcadis project. Hierbij is de gekeken naar het verschil in kwaliteit van de bepaling van de meest waarschijnlijke doorlooptijd. In de oorspronkelijke deterministische planning zijn bij 7 van de 18 activiteiten impliciet aannames gemaakt en risico's meegenomen. Bij de probabilistische methode is dit niet het geval. De doorlooptijd van deterministische planningsmethode is 19 dagen langer dan de meest waarschijnlijke doorlooptijd gebaseerd op de probabilistische planning. Dit verschil is te verklaren door enerzijds de aannames en risico's enerzijds die impliciet verwerkt zijn in de deterministische planning. Anderzijds worden in de meest waarschijnlijke doorlooptijd o.b.v. de probabilistische planning de gebeurtenis-onzekerheden (risico's) apart benaderd. Een andere mogelijke oorzaak is dat deze doorlooptijd in de casus erg laag is ingeschat (kans van 7%) door weinig ervaring met de probabilistische methode.

De kans dat een bepaalde doorlooptijd gehaald wordt is belangrijke sturingsinformatie voor projecten, omdat op basis hiervan kan worden afgewogen of deze acceptabel is of door beheersmaatregelen te nemen moet worden verhoogd. Daarnaast kan met de probabilistische planning de impact van een beheersmaatregel op de doorlooptijd en bijbehorende kans worden berekend. Zo bleek dat een beheersmaatregel die een risico van 65% kans van opspelen terugbracht naar 0% de kans dat de ingeschatte doorlooptijd gehaald zou worden is van 7% naar 12% verhoogde. Door deze geringe verhoging is het de vraag of de investering in deze beheersmaatregel opweegt tegen de geringe impact op de kans dat een bepaalde doorlooptijd gehaald wordt.

Overige verbetervoorstellen

Het planningsmanagement van Arcadis kan naast een nieuwe planningsmethode nog op andere punten verbeterd worden.

Op basis van het onderzoek zijn een aantal KPI's ontwikkeld om het planningsmanagement beter te kunnen sturen en te evalueren. Om de performance van het planningsmanagement in verschillende projecten te evalueren is de KPI '% van de mijlpalen op tijd afgerond' belangrijk. Daarnaast is de kans dat een doorlooptijden van het project, een mijlpaal en een product gehaald wordt een relevante KPI. De performance van de planning van een werkveld (een expertise team) kan gemeten worden door de KPI '% van de activiteiten op tijd afgerond'. Deze KPI's zijn kwalitatief onderzocht, en moeten op projecten nog wel worden uitgetest. Op basis hiervan kunnen normen bepaald worden waaraan de kwaliteit van het planningsmanagement moet voldoen.

Historische kwantitatieve en kwalitatieve data van het planningsmanagement van projecten dienen systematisch worden vastgelegd in een database. Op basis van deze data kan de planningsperformance van projecten worden vergeleken. Op basis hiervan kunnen kwaliteitsnormen geformuleerd worden waaraan het planningsmanagement van projecten moet voldoen.

Naast de probabilistische planningsmethode die onzekerheden en risico's meeneemt in de bepaling van de doorlooptijd, heeft NASA een planningsmethode ontwikkeld die ook het kostenmanagement betreft in het berekenen van een kans dat een doorlooptijden in combinatie met de projectkosten gerealiseerd kan worden. Hiermee kan in de toekomst de planningsmethode binnen Arcadis mogelijk verder verbeterd worden.

Conclusie en aanbevelingen

Het gebruik van de probabilistische planningsmethode verhoogt de betrouwbaarheid van de meest waarschijnlijke doorlooptijd van projecten, omdat ingeschatte doorlooptijden eenduidiger bepaald worden. Alle actoren die input leveren zullen namelijk hun aannames en onzekerheden expliciet maken met deze methode. Een planner kan hierdoor beter sturen op de planning. Daarnaast worden in deze methode onzekerheden statistisch gekwantificeerd, resulterend in een kans dat een bepaalde doorlooptijd gehaald wordt. Tevens kan het effect van beheersmaatregelen op deze kans berekend worden. De probabilistische planningsmethode levert hiermee belangrijke extra sturingsinformatie voor de beheersing van de doorlooptijd van projecten.

De probabilistische planning kan de deterministische niet geheel vervangen, omdat een deterministische planning cruciale informatie goed visualiseert zoals onderlinge afhankelijkheden van activiteiten, het kritieke pad en deadlines van op te leveren producten en mijlpalen. Deze informatie is belangrijk voor de operationele projectsturing in de dagelijkse praktijk.

De probabilistische planningsmethode is getoetst op een project dat al was afgerond. Voor Arcadis is het nu de taak om de probabilistische planningsmethode uit te testen op een aantal pilot projecten en te evalueren. Mochten deze methode voldoende toegevoegde waarde ten opzichte van de extra complexiteit blijken te hebben dan kan het gebruik van de probabilistische planning verder geïmplementeerd worden.

INHOUDSOPGAVE

COLOFON	I
VOORWOORD	II
MANAGEMENT SAMENVATTING	IV
INHOUDSOPGAVE	VI
LEESWIJZER	VIII
AFKORTINGEN	IX
HOOFDSTUK 1 INTRODUCTIE	1
1.1 Arcadis	1
1.2 Probleemstelling	1
1.3 Doelstelling	3
1.4 Afbakening	3
1.5 Onderzoeksvragen	3
1.6 Onderzoeksmethode	4
1.7 Deliverables	5
HOOFDSTUK 2 DE HUIDIGE SITUATIE	6
2.1 Project omschrijving	6
2.2 De deterministische planning	7
2.3 Planningsmanagement	7
2.4 Planningsmanagementprocessen	8
2.4.1 Opstellen van de planning	8
2.4.2 Actualiseren van de planning	11
2.4.3 Sturen op de planning	13
2.4.4 Rapporteren	13
2.5 Conclusie hoofdstuk 2	14
HOOFDSTUK 3 PROBLEEMANALYSE	15
3.1 (On)betrouwbaarheid van deterministische planning en kwaliteit van input data	15
3.2 Sturings- & rapportage informatie	16
3.2.1 Beperkte mogelijkheden om sturing en performance doorlooptijd te meten	16
3.2.2 Integrale sturingsinformatie	17
3.2.3 Datamanagement van planningsmanagent	17
3.3 Werklast	18
3.4 Conclusie hoofdstuk 3	18
HOOFDSTUK 4 THEORETISCH KADER	19
4.1 Onzekerheden	19
4.1.1 Beslissingsonzekerheden	19

4.1.2	Spreadingsonzekerheid	20
4.1.3	Gebeurtenisonzekerheid.....	20
4.1.4	Systemische onzekerheid	22
4.2	Analysetechnieken voor de probabilistische planningsmethode	23
4.2.1	Monte Carlo-simulatie en efficiëntie-momenten methode	23
4.2.2	Berekening van het kritische pad	23
4.2.3	Probabilistische Methode	24
4.3	Conclusie hoofdstuk 4	26
HOOFDSTUK 5 DE PROBABILISTISCHE PLANNING TOEGEPAST OP EEN ARCADIS PROJECT.....		27
5.1	Casus omschrijving, Arcadis project X.....	27
5.2	Oorspronkelijke, geconstrueerde en gerealiseerde data	29
5.3	Impliciete aannames en risico's in de deterministische planningsmethode	31
5.4	Toegevoegde waarde van een probabilistische planning.....	32
5.4.1	Extra sturingsinformatie uit een probabilistische planningsmethode.....	32
5.4.2	Effect van beheersmaatregelen op doorlooptijd en slagingskans	34
5.5	Conlusie Hoofdstuk 5.....	35
HOOFDSTUK 6 VERBETERVOORSTELLEN		37
6.1	Implementatie van de probabilistische planningsmethode binnen Arcadis.....	37
6.2	KPI's voor verbeteren sturing en performance meting van planningsmanagement	38
6.3	Datamanagement voor planningsmanagement.....	39
6.4	Integrale projectplanning.....	40
6.5	Werklast en digitaliseren processtappen	41
6.6	Conclusie hoofdstuk 6	42
HOOFDSTUK 7 CONCLUSIE, AANBEVELINGEN EN BEPERKINGEN		44
REFERENTIES		47
Appendix A.....		49

LEESWIJZER

Dit onderzoek bevat de bachelor thesis “Een nieuwe planningsmethode en de impact op planningsmanagement”. Dit verslag is gestructureerd in acht hoofdstukken, die hieronder kort worden besproken.

Hoofdstuk 1 | Introductie

Dit hoofdstuk introduceert het onderzoeksvorstel van deze thesis en het bedrijf waarvoor dit onderzoek is uitgevoerd. Vanuit de aanleiding en de probleemstelling van dit onderzoek zijn doelstellingen gedefinieerd. Vervolgens worden de onderzoeksvragen en de methode beschreven voor het oplossen van het kernprobleem en het onderzoeksdoel te bereiken.

Hoofdstuk 2 | Huidige situatie

Dit hoofdstuk beschrijft het type projecten dat onderzocht wordt. Vervolgens worden de verschillende processen en huidige werkwijze van planningsmanagement binnen Arcadis beschreven.

Hoofdstuk 3 | Probleemanalyse

In hoofdstuk 3 wordt dieper ingegaan op het analyseren van problemen in het planningsmanagement in de huidige situatie.

Hoofdstuk 4 | Theoretisch kader

Dit hoofdstuk zet het theoretische kader van het onderzoek uiteen en kijkt hoe onzekerheden in projecten kunnen worden gecategoriseerd. In appendix A is afweging tussen verschillende planningsmethoden gemaakt om te bepalen welke planningsmethode gebruikt kan worden voor dit onderzoek. Verder beschrijft dit hoofdstuk wat de verschillen zijn tussen de huidige en aanbevolen planningsmethode in relatie tot de beoordeling van projectonzekerheid en sturingsinformatie voor projecten.

Hoofdstuk 5 | De probabilistische planningsmethode toegepast op een Arcadis project

In dit hoofdstuk wordt een praktijkstudie uitgevoerd door een toepassing van de probabilistische planningsmethode op een project van Arcadis. Op basis van de praktijkstudie wordt beschreven hoe de kwaliteit van planningsmanagement van Arcadis verbeterd kan worden.

Hoofdstuk 6 | Verbetervoorstellen

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe de nieuwe planningsmethode kan worden geïmplementeerd. Vervolgens worden adviezen voor het verbeteren van de kwaliteit van het planningsmanagement beschreven.

Hoofdstuk 7 | Conclusie, Aanbevelingen en beperkingen

In het laatste hoofdstuk wordt geconcludeerd of de nieuwe planningsmethodiek het kernprobleem heeft opgelost. Verder worden ook aanbevelingen beschreven voor het verbeteren van de kwaliteit van planningsmanagement. Tot slot worden de beperkingen van het onderzoek beschreven.

AFKORTINGEN

CCPM.	Critical Chain Project Management
CDF.	Cumulative distribution function
CPM.	Critical Path Method
CI.	Critical Index
DPM.	Deterministische planningsmethode
DO.	Definitief Ontwerp
GWV.	Grond-, Weg- en Waterbouw
IPM.	Integraal Project Management
JIT.	Just in time management
KES.	Klanteis-specificaties
KPI.	Key Performance Indicators
LPS.	Last Planner Systems
MC.	Monte-Carlo
MS.	Microsoft
OG.	Opdrachtgever
PCC.	Pearson correlatiecoëfficiënt
PDF.	Probability Density function
PERT.	Program Evaluation and Review Technique
PPM.	Probabilistische Planning Methode
RWS.	Rijkswaterstaat
VSE.	Vraagspecificatie Eisen
VSM.	Value stream mapping
VSP.	Vraagspecificatie Proces
VTW	Verzoek Tot Wijzigingen

HOOFDSTUK 1

INTRODUCTIE

In het kader van een afstudeeropdracht voor de bacheloropleiding Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente is er onderzoek uitgevoerd bij Arcadis. Het onderzoek focust zich op de planningsprocessen die komen kijken bij het opstellen van een contract voor een aanbesteding tussen klant en de aannemer van een project in de Grond-, Weg- en Waterbouw (GWW) sector. Dit onderzoek vond plaats tussen December 2019 en Maart 2020 bij Arcadis op de afdeling projectbeheersing en kostenmanagement te Amersfoort.

In dit hoofdstuk wordt een algemene introductie over het onderzoek gegeven. In paragraaf 1.1 wordt een korte omschrijving van Arcadis gegeven en de afdeling waar dit onderzoek is uitgevoerd. In paragraaf 1.2 wordt het te onderzoeken probleem omschreven en in paragraaf 1.3 de doelstellingen van dit onderzoek. Aan de hand van de probleemstelling en doelstelling zijn in paragraaf 1.4 de onderzoeksvragen opgesteld. In paragraaf 1.5 wordt de methode besproken welke is gebruikt om deze vragen te beantwoorden. De afbakening van het onderzoek wordt in paragraaf 1.6 benoemd en in paragraaf 1.7 worden de deliverables van het onderzoek opgesomd.

1.1 Arcadis

Arcadis is een internationaal opererende engineering- en adviesorganisatie op het gebied van natuurlijke en gebouwde omgevingen. Arcadis werd opgericht in 1888 en is sindsdien uitgegroeid tot een wereldwijd bekende organisatie met 27.000 werknemers in meer dan 25.000 projecten in 70 landen. Voorbeelden van projecten waaraan Arcadis heeft deelgenomen zijn de uitbreiding van de haven van Calais, het renoveren van het Rijksmuseum in Amsterdam, het verbeteren van de veerkracht van de kust van de oostkant van New York. Arcadis werkt op projectbasis aan onder andere projectmanagement, architectuur, kostenbeheer, contracteren, strategieadviezen, engineering. Arcadis-klanten bevinden zich in zowel de publieke als de private sector. De visie en waarden van Arcadis zijn gebaseerd op vijf pijlers, namelijk people first, duurzaamheid, integriteit, klantgericht werken en samenwerking.

Dit onderzoek is uitgevoerd aan de divisie Infrastructuur, onder adviesgroep programma- & Contractmanagement, onder werkstroom Projectbeheersing & Kostenmanagement. De werkstroom projectbeheersing & kostenmanagement is verantwoordelijk voor het managen van projecten en het inzichtelijk hebben van de scope, planning, risico's en kosten door middel van informatiemanagement. Deze werkstroom bestaat uit projectbeheersers, risicomangers, planners en kostendeskundigen. Dit onderzoek focust zich op planningsmanagement wat valt onder de afdeling projectbeheersing. Afhankelijk van de omvang van het project ligt de verantwoordelijkheid van de planning bij de planner als een aparte functie of maakt het plannen deel uit van een andere functie zoals een projectbeheerser of projectmanager.

1.2 Probleemstelling

Planningsmanagement wordt steeds belangrijker voor de projecten binnen Arcadis, omdat projecten groter en complexer worden. Het richt zich voornamelijk op het beheers-aspect tijd en focust zich op de planning, beheersing en sturing van de doorlooptijd. De doorlooptijd van een project wordt contractueel vastgelegd met klanten, vaak zitten hier financiële consequenties aan verbonden als de overeengekomen doorlooptijd door schuld van Arcadis niet gehaald wordt.

Het planningsmanagementproces is vastgelegd in het Arcadis-kwaliteitssysteem (The Arcadis Way). Hierin worden de verschillende bedrijfs- en project gerelateerde processen op een hoog abstractieniveau beschreven. Zo ook de processen die komen kijken bij planningsmanagement.

Door het hoge abstractieniveau is er veel vrijheid in de manier waarop een planning wordt opgesteld en beheerst in verschillende projectteams van Arcadis. Dit geeft de volgende voordelen:

- Het kwaliteitssysteem is van toepassing op alle soorten projecten en klanten die Arcadis bedient;
- Het biedt ruimte voor maatwerk bij verschillende projecten en klanten;
- Het geeft een projectmanager flexibiliteit om zijn "eigen manier" van werken toe te passen.

Binnen Arcadis is er nog nauwelijks onderzoek gedaan naar de kwaliteit en effectiviteit van het planningsmanagement zoals binnen Arcadis wordt toegepast. Wel heeft de afdeling projectbeheersing een aantal problemen geformuleerd op basis van hun ervaringen in de praktijk:

- *Verschillende aannames en interpretaties van planningsdata:* doordat het planningsmanagementproces alleen op hoog abstractieniveau is vastgelegd, worden projectplanningen door planners op verschillende manieren opgesteld, vastgelegd (bv. Excel of MS-project) en beheerst. Bij het opstellen worden op verschillende manieren aannames verwerkt in de planning. Zo kunnen mensen die gegevens aanleveren voor de planning bij het bepalen van de doorlooptijd meenemen dat er te weinig capaciteit beschikbaar is op hun afdeling en daarmee de doorlooptijd van hun activiteit langer maken. Een ander houdt geen rekening met beschikbare capaciteit en geeft een kortere doorlooptijd op. Dit soort verschillen treden op binnen een project, maar ook tussen projecten. Het interpreteren van een planning van een project en het vergelijken van planningen van meerdere projecten wordt daarmee moeilijk. Doordat planningsdata niet eenduidig zijn en aannames op verschillende manieren verwerkt zijn, kan de kwaliteit van het planningsmanagement worden verbeterd;
- *Onzekerheden en risico's worden niet meegenomen in de huidige planningsmethode:* binnen Arcadis wordt een deterministische planningsmethode gebruikt. In deze methode worden onzekerheden en risico's niet meegenomen. Wel worden risico's door de afdeling risicomanagement in beeld gebracht en wordt er nagedacht over de impact daarvan voor de doorlooptijd. Doordat onzekerheden en risico's niet meegenomen worden in de deterministische methode is de betrouwbaarheid van deze methode beperkt voor projecten met veel onzekerheden.

Hierboven is gesteld dat de kwaliteit van het planningsmanagement verbeterd kan worden en de gebruikte planningsmethode een beperkte betrouwbaarheid heeft voor Arcadis projecten. Dit heeft weer gevolgen voor de rest van het projectmanagement binnen Arcadis:

- *Capaciteitsplanning van expertises niet optimaal:* Planningen van verschillende projecten zijn door het gebrek aan een eenduidige planningsmethode lastig te vergelijken waardoor een goede capaciteitsplanning over projecten heen van expertises ook onbetrouwbaar wordt. Dit leidt weer tot vertraging van projecten of tot een verlaging van de declarabiliteit van medewerkers, omdat ze niet optimaal ingezet kunnen worden op de verschillende projecten. Met als gevolg kostenverhoging voor Arcadis.
- *Wie is verantwoordelijk voor de faalkosten (capaciteit en/of projectduur) van een project is moeilijk te bepalen:* door de huidige manier van plannen en projectbeheersing is niet altijd aan te tonen wie verantwoordelijk is voor de uitloop van een project en wat de oorzaak is. Hierdoor kan Arcadis ook niet altijd goed aantonen of zij zelf of een andere stakeholder de extra kosten voor de uitloop van het project moet dragen.

Het kernprobleem van dit onderzoek is dat de kwaliteit van het planningsmanagement binnen Arcadis laag is. De hypothese is dat de oorzaken zowel in de lage kwaliteit van het planningsmanagement zit als in de beperkte betrouwbaarheid van de planningsmethode.

1.3 Doelstelling

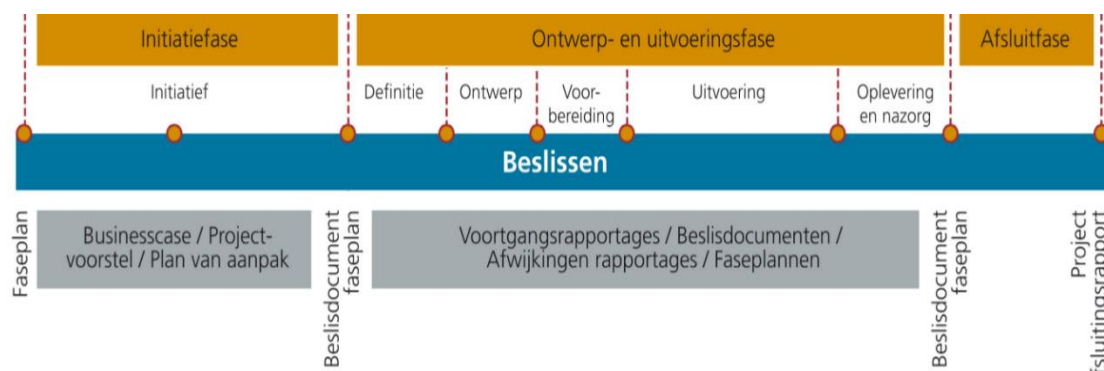
De doelstelling van dit onderzoek is de betrouwbaarheid van het planningsmanagement binnen Arcadis te verbeteren door:

- data als doorlooptijd op een zelfde manier te bepalen en te gebruiken;
- een planningsmethode te onderzoeken die rekening houdt met onzekerheden en risico's, waardoor betrouwbare sturingsinformatie geleverd wordt in onzekere projecten.

1.4 Afbakening

Het bereik van dit onderzoek beperkt zich tot het verbeteren van het planningsmanagement van projecten. Aangezien het planningsmanagement zich focust op de beheers-aspect 'tijd' (doorlooptijd). Risico's zullen worden meegenomen zolang ze directe invloed hebben op 'tijd'. Andere beheers aspecten zoals capaciteit, kwaliteit en geld (kosten) vallen buiten de scope van dit onderzoek.

Dit onderzoek beperkt zich tot het planningsmanagement van een specifiek type projecten van de afdeling projectbeheersing binnen Arcadis. Het type project is het opstellen van het aanbestedingscontract in de GWW-sector. Aanbestedingscontracten worden opgesteld in de voorbereidingsfase van een GWW-project en beschrijft alle eisen waaraan het ontwerp van het project aan moet voldoen. Na de voorbereidingsfase volgen nog een aantal fasen (zie figuur 1). Deze andere fasen vallen buiten de scope van dit project.



Figuur 1 Projectfasen in de GWW-sector

1.5 Onderzoeksvragen

Aan de hand van de probleemstelling en de doelstellingen van dit onderzoek is de volgende hoofdvraag opgesteld:

Hoe kan de kwaliteit van het planningsmanagement en de betrouwbaarheid van de planningsmethode van Arcadis worden verbeterd?

Deze vraag is opgedeeld in de volgende 4 deel vragen met elk hun eigen sub-vragen:

1. Hoe verloopt het planningsmanagement binnen Arcadis in de huidige situatie?

- 1.1 Welke planningsmethode en processen vinden plaats binnen het planningsmanagement van Arcadis in de huidige situatie?
- 1.2 Wat zijn de problemen van de planningsmethode en het planningsmanagement in de huidige situatie?

2. Hoe kunnen onzekerheden en risico's meegenomen worden in de planningsmethode zodat de betrouwbaarheid van een projectplanning groter wordt?

2.1 Welke vormen van project onzekerheden kunnen worden onderscheiden?

2.2 Wat zijn de verschillen tussen de aanbevolen planningsmethode t.o.v. de huidige methode in relatie tot de beoordeling van project onzekerheid?

3. Hoe kan de kwaliteit van planningsmanagement verbeterd worden door het gebruik van de aanbevolen planningsmethode?

3.1 Hoe kan de aanbevolen planningsmethode de eenduidigheid interpretatie van planningsdata te vergroten?

3.2 Welke extra sturingsinformatie levert een nieuwe planningsmethode op voor Arcadis?

4. Wat zijn de verbetervoorstellen voor het verhogen van de kwaliteit van het planningsmanagement?

4.1 Hoe kan de aanbevolen planningsmethode binnen Arcadis worden geïmplementeerd?

4.2 Welke overige verbetervoorstellen verbeteren de kwaliteit van het planningsmanagement?

De onderzoeksvragen, waaronder specifieke sub-vragen zullen helpen om het onderzoeksdoel te bereiken. De sub-vragen geven focus en een richting aan het onderzoek, waardoor het onderzoek haalbaarder wordt.

1.6 Onderzoeksmethode

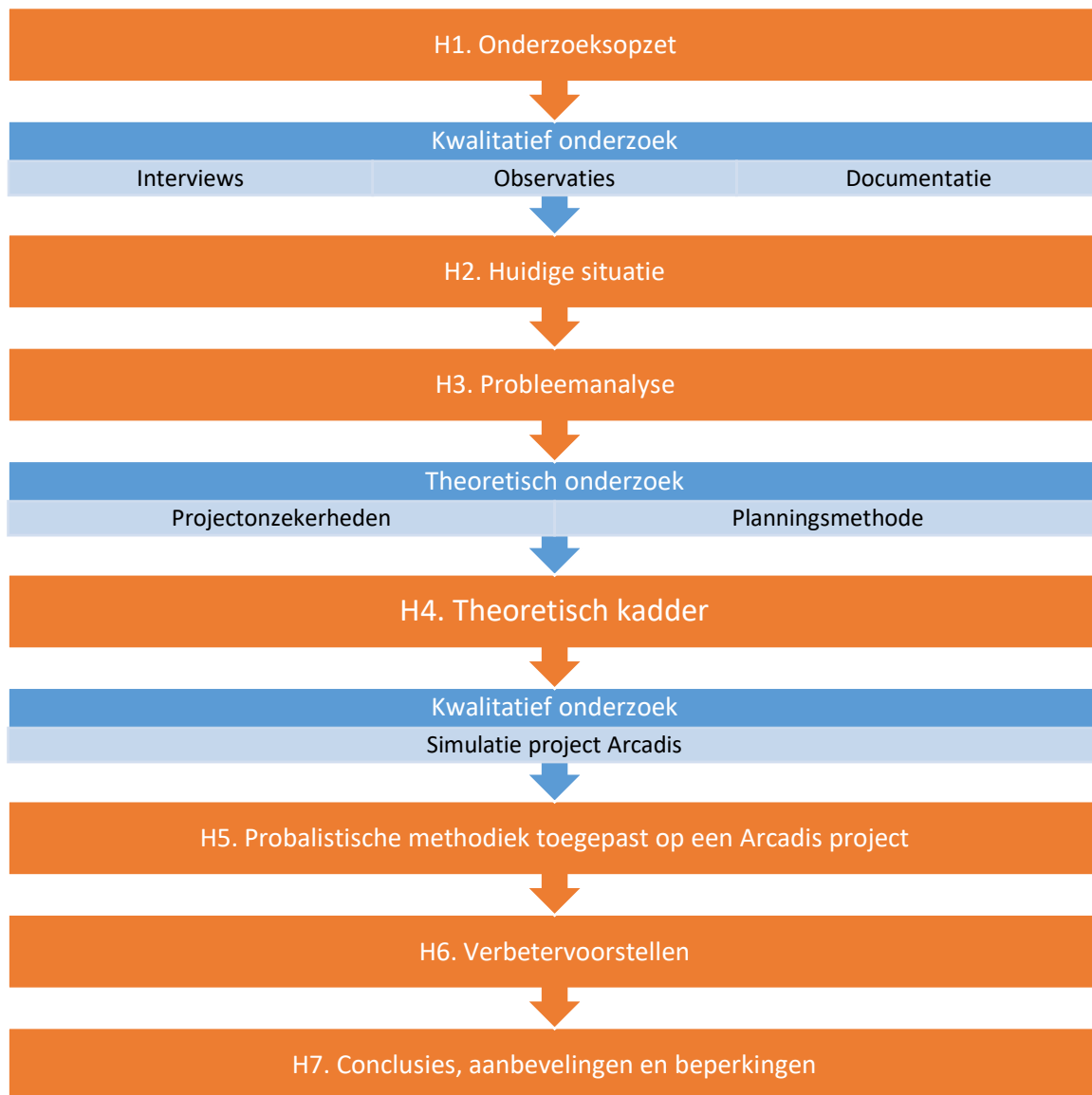
Het doel van dit onderzoek is het verbeteren van het planningsmanagement van Arcadis projecten door het onderzoeken, vergelijken en evalueren van de huidige deterministische planningsmethode en een aanbevolen planningsmethode.

Dit onderzoek bestaat uit twee onderdelen, namelijk kwalitatieve en een kwantitatieve studie gericht op het verbeteren van planningsmanagement voor een type project van Arcadis. Dit type project beschrijft het opstellen van een aanbestedingscontract voor projecten uit de GWW-sector. Figuur 2 geeft een overzicht van de onderzoeksopzet in combinatie met de opbouw van de hoofdstukken.

Allereerst is een kwalitatieve studie uitgevoerd om het huidige processen en methode van planningsmanagement van bovengenoemde projecten in kaart te brengen en te analyseren welke problemen er in de praktijk ervaren worden. Hiervoor zijn open en semigestructureerde interviews uitgevoerd bij de verschillende type actoren van een projectteam (projectmanagers, planners, IPM-rolhouders, werkveldleiders en specialisten) die betrokken zijn bij de planning van de twee projecten. Hierdoor wordt de bias van een bepaalde actor voorkomen. Daarnaast bestaat de kwalitatieve studie uit het observeren van plannings sessies, waarin een deel van het projectteam overleg pleegt over de planning.

In het theoretisch kader zijn verschillende planningsmethoden met elkaar vergeleken. De aanbevolen planningsmethode is vervolgens vergeleken met de huidige deterministische methode. Hierbij zijn eerst de verschillende type onzekerheden geclassificeerd die in projectplanningen voorkomen. Vervolgens is onderzocht hoe beide methoden onzekerheden en integreren in de planning van projecten bij het bepalen van met name de doorlooptijden.

In het kwantitatieve deel van dit onderzoek is een simulatie-experiment gedaan op basis van een reeds afgerond Arcadis project. Hierbij is de laatste fase van de planning gereconstrueerd door een plannings sessie te organiseren waarbij het projectteam dat het project heeft uitgevoerd, de input levert aan de hand de aanbevolen planningsmethode. Op basis van deze gegevens is een nieuwe planning gemaakt en vergeleken met de bestaande deterministische planning.



Figuur 2 Onderzoeksopzet

1.7 Deliverables

De volgende deliverables zijn gedefinieerd:

- Een overzicht van alle processen omtrent het uitvoeren van planningsmanagement
- Een probleemanalyse van de huidige situatie
- Een overzicht van de kwantificatie van verschillende vormen onzekerheden binnen een project.
- Aanbevelingen voor een nieuwe planningsmethode
- Aanbevelingen voor het verbeteren van planningsmanagementprocessen.

Deze bevindingen kunnen worden uitgebreid naar andere bedrijven, die op projectbasis werken.

HOOFDSTUK 2

DE HUIDIGE SITUATIE

Dit hoofdstuk geeft antwoord op de sub-vraag 1.1 *Welke planningsmethode en processen vinden plaats binnen het planningsmanagement van Arcadis in de huidige situatie?* Deze vraag valt onder onderzoeksvraag 1. *Hoe verloopt het planningsmanagement binnen Arcadis in de huidige situatie?*

Voor het beantwoorden van deze sub-vragen zijn interviews en observaties uitgevoerd. Met de verkregen informatie is gekeken naar wat de overeenkomsten en contradicties zijn in werkwijze van werknemers en waar de informatie complementair is. Hierdoor werd het mogelijk om de processen van planningsmanagement in kaart te brengen.

In dit hoofdstuk wordt in paragraaf 2.1, een uitleg gegeven van het type project waarvoor een planning moet worden opgesteld. Vervolgens wordt in paragraaf 2.2 de type planning beschreven die gebruikt worden voor het beheersen van de projecten. In paragraaf 2.3 worden de processen en actoren van planningsmanagement omschreven. Tot slot wordt in paragraaf 2.4 een uitgebreidere uitleg gegeven over deze verschillende planningsmanagementprocessen van Arcadis.

2.1 Project omschrijving

Paragraaf 1.7 beschrijft het type projecten dat binnen de scope van dit onderzoek centraal staat. Deze paragraaf gaat in op de dynamiek van dit type projecten.

Binnen de Grond-, Weg- en Waterbouw projecten speelt Arcadis vooral een rol in de ontwerpfase. Binnen deze fase levert Arcadis een aantal diensten, waaronder het opstellen van een contract voor het aanbestedingsdossier. Dit onderzoek focust op zich op de projectplanning van dit laatste type projecten. Het opstellen van een contract voor het aanbestedingsdossier bestaat uit de volgende producten:

- Vraagspecificatie Eisen (VSE of VS1)
- Vraagspecificatie Proces (VSP of VS2)
- Annexen (bijlagen)

Op basis van dit contract kunnen aannemers zich inschrijven op een aanbesteding en met voorstellen komen. De opdrachtgever bepaalt vervolgens aan wie de aanbesteding gegund wordt. Voor het opstellen van zo'n contract moeten een aantal activiteiten en onderzoeken worden gedaan. De activiteiten die hiervoor doorlopen worden zijn bijvoorbeeld het uitvoeren van een kostenraming van het ontwerp van het project. Maar ook grond- en omgevingsonderzoeken waar eisen voor het ontwerp wat contractueel vastgelegd moet worden.

Bij dit type complexe projecten is het van groot belang dat de integraliteit gewaarborgd wordt, waarbij de mensen binnen Arcadis met verschillende expertises met elkaar moeten samenwerken en goed moeten afstemmen om tot een kwalitatief contract te komen.

Het opstellen van een contract is een dynamisch en integraal proces dat moeilijk te plannen is omdat dit type projecten:

1. een projectscope heeft die gedurende het project kan wijzigen;
2. een grote afhankelijkheid heeft van externe invloeden die niet altijd te beheersen zijn zoals het weer, betredingstoestemmingen, broedseizoenen, etc.;
3. steeds complexer en groter worden en de opdracht scope vaak uniek is;

4. veel risico's met tijdsgevolgen in zich hebben. Zoals een scope wijziging of vergunningen die aangevraagd moeten worden;
5. afhankelijk is van veel verschillende expertises en disciplines.

2.2 De deterministische planning

Een planning binnen Arcadis bestaat uit een verzameling aan elkaar gekoppelde activiteiten waarbij onderlinge afhankelijkheden worden aangegeven. Elke planning heeft een start mijlpaal en een eindmijlpaal. De doorlooptijd van activiteiten in deze methode wordt gedefinieerd als een vaste waarde die gebaseerd wordt op de meest waarschijnlijke doorlooptijd. De duur van een project wordt bepaald door die activiteiten die achtereenvolgens moeten worden uitgevoerd en bij elkaar de langste duur hebben (het kritisch pad). Een dergelijke planning wordt een deterministische planning genoemd. In dit type planning worden de verschillende vormen van onzekerheid niet meegenomen, zoals risico's en spreiding die de doorlooptijd van activiteiten kunnen beïnvloeden. Spreiding wil zeggen dat een activiteit korter of langer kan duren als gevolg van onzekerheid in de doorlooptijd van een activiteit. Een risico voor de doorlooptijd van een project is een ongewenste gebeurtenis die het project kan vertragen.

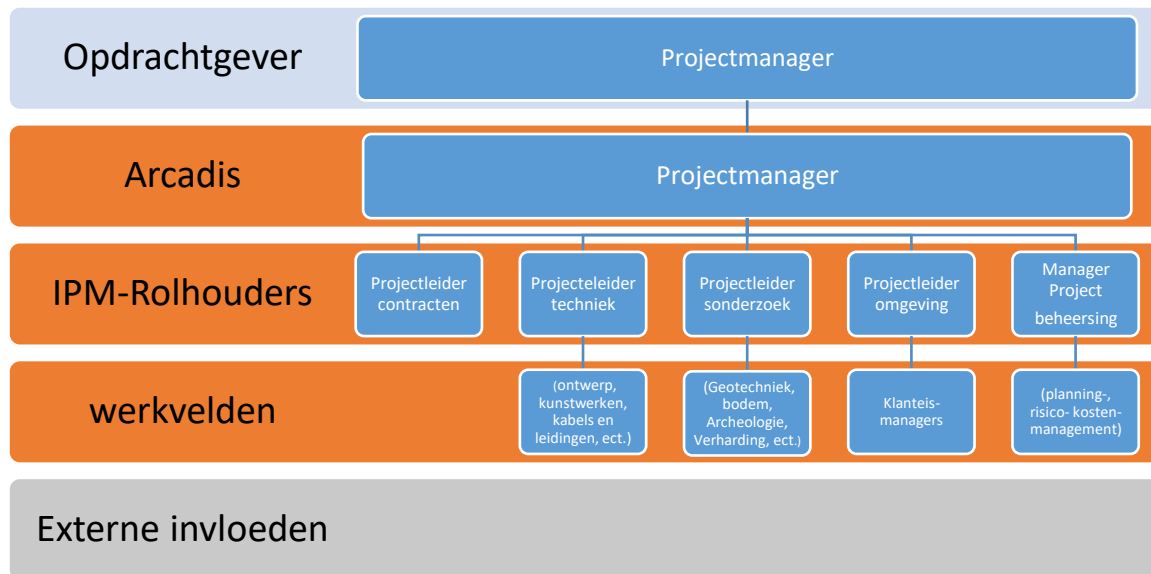
Het doel van een deterministische planning is het beheersen van de factor tijd door middel van het weergeven van de stand van zaken per activiteit op het gewenste level inclusief de scope en contractuele mijlpalen.

2.3 Planningsmanagement

Een deterministische planning dient een visueel overzicht te geven van de activiteiten, producten, taken en de relaties hiertussen, op basis waarvan gerapporteerd en gestuurd kan worden. Daarmee bestaat de essentie van planningsmanagement uit vier processen:

- De planner is verantwoordelijk voor het **opstellen** van de planning. Om te komen tot een goede planning moeten er verschillende stappen doorlopen worden. De huidige planningsmethode voor het opstellen van de planning is de Critical Path Method (CPM).
- Zodra de planning is opgesteld dient de planner deze frequent te **actualiseren**. Actualiseren is het up-to-date houden van de planning inclusief het weergeven van de voortgang per activiteit en het doorrekenen van de planning op een peildatum (standlijn). Voor een juiste actualisatie van de planning dienen, ten eerste wijzigingen in de opdrachtscope genaamd, Verzoek Tot Wijzigingen (VTW's) vanuit de opdrachtgever worden meegenomen. Ten tweede, zullen ook interne wijzigingen in de planning moeten worden opgenomen.
- Een planning is een middel om zowel het project als het projectteam te **sturen**. Een planning maakt de processen, afhankelijkheden en kritieke punten in een project inzichtelijk. Op basis van deze inzichten kan de planning dienen als sturingsinformatie. Een voorbeeld van een bijsturing is het inschakelen van extra capaciteit om de doorlooptijd te versnellen. Daarnaast is een vastgestelde planning ook een afspraak binnen het project waarop projectleden en opdrachtnemers op aangesproken kunnen worden. De planning van doorlooptijd en benodigde capaciteit heeft ook invloed op de financiële sturing van een project. Wanneer er meer capaciteit nodig is dan vooraf ingeschat, zullen de projectkosten oplopen.
- Een planning is een middel om te **rapporteren**. De actuele stand van zaken wordt gerapporteerd en vergeleken met de vastgestelde planning. De planning dient gerapporteerd te worden aan het projectteam van de opdrachtgever. Hiermee is de opdrachtgever in staat om de planning van het gehele project te beheersen.

Om een juiste planning op te stellen, te actualiseren, te sturen en te rapporteren is de planner van verschillende actoren afhankelijk. In figuur 3 wordt een overzicht gegeven van de actoren in een groot complex project en hoe zij zich tot elkaar verhouden in de projectorganisatie:



Figuur 3 Structuur van een projectteam bij Arcadis (grote projecten)

De projectmanager van Arcadis is eindverantwoordelijk voor het gehele project. De planner heeft een belangrijke sleutelrol, omdat de planner zowel extern naar de opdrachtgever als intern naar de projectmanager rapporteert over de voortgang van het project. Daarnaast haalt de planner de informatie op bij het projectteam wat als input dient voor zowel het opstellen en actualiseren van de planning. Aan de hand van de informatie uit de planning stuurt de planner het projectteam.

Voor de informatieoverdracht communiceert de planner voornamelijk met integraal projectmanagement rolhouders (IPM-rolhouders). De verschillende IPM-rolhouders vallen onder de projectmanager van Arcadis en zijn verantwoordelijk voor een bepaalde stroming, zoals omgevingsmanager, technisch manager, contractmanager, ect. Afhankelijk van de grootte van het project communiceren de IPM-rolhouders met een aantal aangestelde werkveldleiders. Een werkveld is een groep specialisten met een bepaalde expertise, zoals kabels & leidingen of bommen & granaten. De rollen van de verschillende actoren tijdens de planningsmanagementprocessen worden beschreven in de paragraaf 2.4.

2.4 Planningsmanagementprocessen

In dit hoofdstuk wordt in 2.4.1 overzicht gegeven van het proces 'opstellen' van de deterministische planning. Paragraaf 2.4.2 presenteert de processen van het 'actualiseren' en 2.4.3 de processen omtrent 'sturen'. En tot slot gaat 2.4.4 in op het 'rapportage' proces.

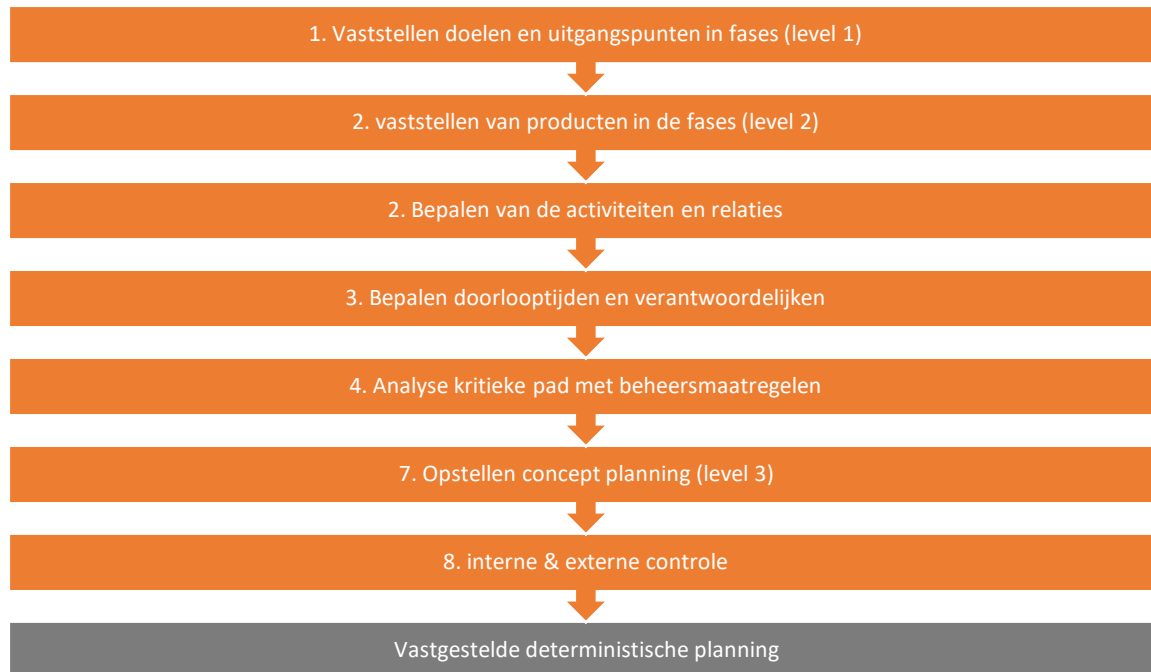
2.4.1 Opstellen van de planning

In deze paragraaf worden de werkzaamheden van de planner beschreven wanneer deze een planning opstelt. Het opstellen van een planning bestaat uit een aantal stappen gebaseerd op de Critical Path Method (CPM). Deze stappen worden schematisch weergegeven in figuur 4. Het kan voorkomen dat sommige stappen – bijvoorbeeld wanneer er sprake is van belangrijke mijlpalen of faseovergangen – meerdere keren doorlopen moeten worden.

Om een kwalitatieve planning te maken moet de planner zorgen dat zijn informatie volledig, juist en eenduidig is. Daarnaast moet hij/zij ervoor zorgen dat de inhoud en de wijze waarop de informatie gepresenteerd wordt aansluit bij de informatiebehoefte van de mensen voor wie de informatie bedoeld is. Voor Arcadis is het van belang dat de kwaliteit van de planning goed is, omdat de kosten van het project vrijwel geheel bepaald wordt door de tijd dat het team bezig is met het ontwikkelen van het contract. Dit heeft direct effect op de winstgevendheid van het

project, omdat de projecten gebaseerd zijn op 'lump sum'. De kwaliteit van een planning is afhankelijk van 2 aspecten:

- *De kwaliteit van de informatie:* Een planning zonder volledige, juiste en eenduidige informatie leidt tot een onbetrouwbare projectplanning.
- *De kwaliteit van de informatieoverdracht:* Zijn de mensen voor wie de informatie bedoeld is bereid de informatie te lezen, in staat de informatie te snappen en voldoet de informatie aan hun informatiebehoefte. Een planning die niet te lezen is en niet de gewenste informatie bevat, zal niet gebruikt worden wat weer leidt tot een lage betrouwbaarheid van de projectplanning.



Figuur 4 Processtappen van het opstellen van een projectplanning

Stap 1. Het vaststellen van doelen en uitgangspunten

Als eerste is het nodig te bepalen waarvoor een planning wordt gemaakt en wie de gebruikers zijn. In tabel 1 wordt een onderscheid gemaakt tussen drie lagen planningen (van abstract naar concreet) met bijbehorende doelen en doelgroepen. In een kwalitatief goede planning zijn de onderdelen uitklapbaar en oprolbaar. Hoe de planning vervolgens wordt gepresenteerd is afhankelijk van degene aan wie dit gebeurt en van het niveau waarop het gesprek over de planning plaatsvindt.

Tevens vindt een inventarisatie plaats van de kaders, richtlijnen en procedures die van invloed zijn op het project. Deze gegevens staan beschreven in verschillende documenten als het scopeformulier, bestuurs-, uitvoeringsovereenkomst, planningsstructuur, mijlpalen in basisovereenkomst.

Aan de hand van deze informatie kan het project opgedeeld worden in beheersbare werkpakketten (fases). Vervolgens kan de planner de volgorde van belangrijke fases die het project moet doorlopen verwerken in planning level 1. Deze dient als structuur voor de volgende stap. Deze planning wordt opgestuurd naar de IPM-rolhouders zodat zij dit met hun eigen team kunnen doornemen om te bepalen welke producten opgeleverd dienen te worden.

Tabel 1 Karaktereigenschappen van de verschillende planningslevels

Level	Doel	Doelgroep	Scope	Eenheid
1	Het inzichtelijk maken van de stand van zaken van het project en het verschaffen van informatie op basis waarvan gerapporteerd (opdrachtgever), geïnformeerd (omgeving) en gestuurd (projectteam) kan worden.	Projectmanager/ Opdrachtgever	Contractmijlpalen, belangrijke en projectfases.	Maanden
2	Het inzichtelijk maken van de stand van zaken van het project en het verschaffen van informatie op basis waarvan geïnformeerd (omgeving) en gestuurd (projectteam) kan worden.	Projectteam	Producten en afhankelijkheden	Weken
3	Het inzichtelijk maken van informatie over de van dag tot dag uit te voeren werkzaamheden en afhankelijkheden met andere werkzaamheden;	Uitvoerend team	Producten in activiteiten en afhankelijkheden (Projectfase)	Dagen

Stap 2. Opstellen vaststellen van producten in de fases

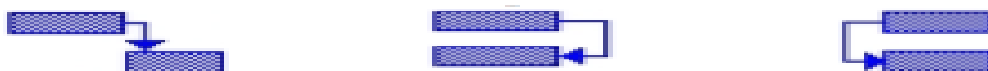
Tijdens een overleg samen met de IPM-rolhouders is het mogelijk om een planning van level 2 op te stellen, hiervoor is het van belang dat de fase die doorlopen moeten worden met daarbij de producten die aangeleverd moeten worden en de onderlinge relaties, worden vastgelegd.

Belangrijk is dat de bevindingen vanuit de verzamelde informatie en de opgestelde planning worden gecontroleerd bij de verschillende werkvelden van de IPM-rolhouders. Uiteindelijk wordt planning level 1 en 2 bij de opdrachtgever gevalideerd om te controleren of deze overeenkomt met het gewenste beeld. Mochten hier contradicties in zitten zal dit worden verwerkt. Hierdoor wordt voorkomen dat Arcadis geen producten gaat leveren waar de klant niet om vraagt en dus onnodige kosten opleveren.

Stap 3. Bepalen van activiteiten en relaties

Zodra de planning level 1 en 2 zijn vastgesteld gaan de IPM-rolhouders samen met hun team de (primaire en ondersteunende) activiteiten bepalen die doorlopen moeten worden om het gewenste projectresultaat te realiseren. Daarnaast worden de afhankelijkheden van deze activiteiten gedefinieerd.

Op basis van de verzamelde informatie kan de planner een planning sessie organiseren met alle IPM-rolhouders om de relaties tussen de activiteiten in kaart te brengen. Er zijn hierbij 3 soorten relaties mogelijk, de eind-start, de start-start en de eind-eind relatie weergegeven in figuur 5.



Figuur 5 activiteiten relaties (1. eind-start, 2. eind-eind, 3. start-start)

Om de relatie te bepalen kan gekeken worden of ze na elkaar moeten plaats vinden (start-eind), omdat ze afhankelijk van elkaar zijn. Is dit niet het geval dan zullen activiteiten tegelijkertijd uitgevoerd kunnen worden, parallel kunnen lopen (eind-eind, start-start). Wanneer activiteiten parallel uitgevoerd kunnen worden, kan de bijbehorende mijlpaal of zelfs het eindpunt vervroegd worden. Als alle relaties benoemd zijn, ontstaat een gesloten netwerk.

Stap 4. Bepalen van doorlooptijden en verantwoordelijken

Tijdens een bilateraal overleg met de IPM-rolhouder zullen de doorlooptijden worden bepaald. Op basis van de ervaring van de IPM-rolhouder en zijn team wordt de doorlooptijd van de activiteiten bepaald. Daarnaast wordt er aangegeven wie verantwoordelijk is voor welke activiteit. Daarbij is het van belang dat de IPM-rolhouder rekening houdt met de beschikbare capaciteit van de mensen die onder hem vallen.

Stap 5. Analyseren van kritieke paden

Uit de planning met een gesloten netwerk volgt het kritieke pad. Tijdens een planningssessie gaan de planner en de IPM-rolhouders na of dit kritieke pad en bijbehorende activiteiten overeenkomen met de gewenste doorlooptijd van het project. Wanneer het kritieke pad langer blijkt te zijn dan de gewenste doorlooptijd, kan gekeken worden of er meer activiteiten parallel gepland kunnen worden. Wanneer dit niet mogelijk is kan ook worden gekozen om een beheersmaatregel op te nemen door bijvoorbeeld meer capaciteit in te zetten. Deze beheersmaatregelen kunnen worden verwerkt in de planning.

Stap 6. Vaststellen concept planning

Wanneer de planning level 3 is opgesteld, is het voor het vaststellen van de concept planning. Ter controle stuurt de planner dit naar de een senior planner. Mochten over dit gesloten netwerk nog opmerkingen zijn zal de planner dit moeten verwerken.

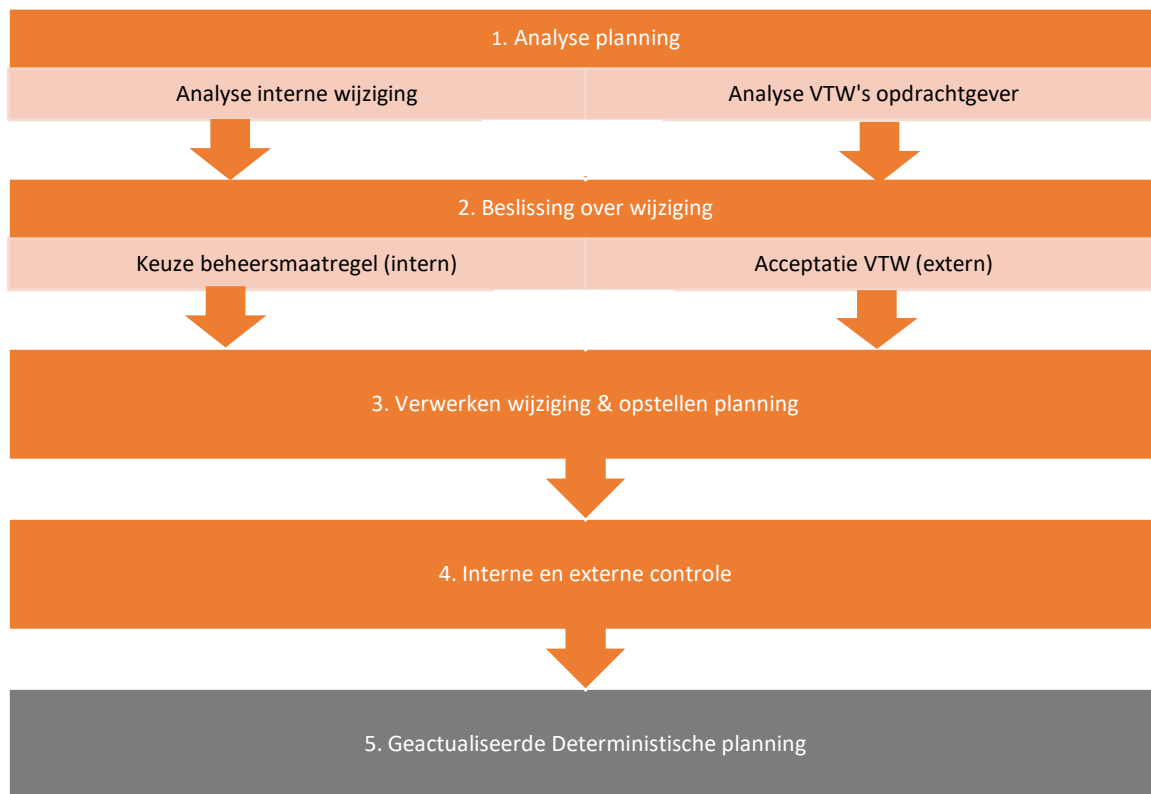
Stap 7. Interne & externe controle

De concept planning zal ter controle worden gestuurd naar zowel de projectmanager als de IPM-rolhouders die de planning weer intern kunnen bespreken. Mochten er nog aanpassingen moeten worden aangebracht zal dit moeten worden verwerkt. Mochten deze aanpassingen invloed hebben op de planning zal dit worden besproken met de IPM-rolhouders. Na intern akkoord zal de planning ter controle worden gestuurd naar de opdrachtgever. Mochten er aanpassingen nodig zijn, zal dit moeten worden overlegd met de IPM-rolhouders. Zodra er geen aanpassingen meer zijn, kan de planning vastgesteld worden.

2.4.2 Actualiseren van de planning

Deze paragraaf gaat nader in op de werkzaamheden van de planner die nodig zijn om een planning te actualiseren. De stappen die een planner moet doorlopen, zijn daarbij van een uitleg voorzien. Zie hiervoor ook figuur 6. Het moment waarop deze stappen binnen een project aan de orde zijn en de frequentie waarmee ze genomen worden, is afhankelijk van het project in kwestie.

Er kunnen in een project altijd onverwachte interne of externe dingen gebeuren die invloed hebben op de doorlooptijd van een project. Het is dan van belang dat de planning geactualiseerd wordt, zodat er overzicht is voor zowel de opdrachtgever als het projectteam, omdat dit mogelijk consequenties voor hen heeft.



Figuur 6 Processen van het actualiseren van de projectplanning

Stap 1. Analyse planning

Er kunnen in een project altijd onverwachte interne of externe dingen gebeuren die invloed hebben op de doorlooptijd van een project.

Intern: Het is belangrijk naast het bewaken van de planning, deze ook periodiek te analyseren door de actuele voortgang van het project te vergelijken met de planning. Dit gebeurt tijdens de challenge gesprekken tussen de projectmanager, de planner en een IPM-rolhouder. Tijdens deze challenge gesprekken worden de verschillen tussen planning en uitvoering vastgelegd met daarbij de oorzaken. Ook wordt er gekeken naar de gevolgen van deze wijzigingen.

Extern: Gedurende het project kan zowel de opdrachtgever als het projectteam wijzigingen aanbrengen in de scope van de opdracht. De planner zal deze wijzigingen moeten analyseren en de consequenties van de wijziging in de planning inzichtelijk maken.

Stap 2. Beslissing over wijziging

Afhankelijk van de uitkomsten van de analyse kan in hoofdlijnen gekozen worden voor 2 soorten beheersmaatregelen om bij te sturen:

- ingrepen in het project intern (bijvoorbeeld door meer capaciteit in te zetten, aanpassingen in de volgorde van activiteiten);
- ingrepen in de contractuele planning. Deze laatste wijze van ingrijpen heeft vaak negatieve gevolgen voor de einddatum of de kwaliteit van producten.

De projectmanager zal een wijziging in de contractuele planning moeten voorleggen aan de opdrachtgever. Een wijziging intern moet door de projectmanager worden goed gekeurd.

Stap 3. Verwerken wijziging en het actualiseren van de concept planning

De wijzigingen kunnen worden verwerkt in de planning. Zodra deze wijzigingen verschuivingen veroorzaken in contractuele mijlpalen van de planning zal dit moeten worden verwerkt in een voortgangsrapportage, waarin ook de oorzaak van de wijziging worden opgenomen.

Stap 4. Interne & externe controle

De aangepaste concept planning zal ter controle worden gestuurd naar zowel de projectmanager als de IPM-rolhouders die de planning weer intern kunnen bespreken. Zodra de planning wijzigingen met zich meebrengt voor externe partijen zoals de opdrachtgever zal ook daar de nieuwe planning naar toe moeten worden gestuurd.

2.4.3 Sturen op de planning

Binnen Arcadis wordt er op verschillende manieren gestuurd op tijd door middel van de planning. Dit kan zowel op een proactieve als een reactieve manieren gedaan worden:

- *Proactief sturen:* in midweekse sessies wordt de voortgang van het project besproken met de werkveldleiders die de komende weken bepaalde producten moeten opleveren. Aan de hand van het relevante deel van de planning wordt gekeken naar wat er in die week gaat gebeuren, welke producten moeten worden opgeleverd, wie afhankelijk is van deze producten en welke belangrijk zijn voor het behalen van de project mijlpaal. Het doel is naast het bewaken van de planning, het team bewust te maken van de planning en onderlinge afhankelijkheden. Het projectteam werkt aan verschillende producten. Het is daarom van belang om over de producten heen te kijken en mee te geven wat voor invloed een activiteit heeft op de planning. De uitvoerder van de activiteit moet zich bewust zijn of de activiteiten op het kritieke pad liggen of dat het een parallel activiteit is.
- *Reactief sturen:* dit wordt aan de hand van challenge gesprekken gedaan. De voortgang van het project wordt besproken tijdens dit gesprek waarin de projectplanning wordt vergeleken met de actuele situatie. Indien er verschillen zijn, wordt gekeken hoe die kunnen worden opgelost, bijvoorbeeld door het inzetten van extra resources. Wanneer de verschillen niet opgelost kunnen worden en invloed hebben op de doorlooptijd van een mijlpaal, wordt dit vastgelegd in de voortgangsrapportage. Tevens worden de oorzaken van deze verschillen beschreven. Vervolgens zullen de consequenties voor de doorlooptijd moeten worden geactualiseerd en gecommuniceerd.

2.4.4 Rapporteren

Nadat een planning is geaccepteerd door de opdrachtgever wordt minimaal 1x per maand gerapporteerd over de actuele stand van zaken. De laatste geactualiseerde planning wordt dan vergeleken met de vastgestelde planning. In elke voortgangsrapportage komen de volgende onderwerpen aan de orde:

- Welke activiteiten zijn er afgelopen periode uitgevoerd?
- Welke activiteiten worden de komende periode uitgevoerd?
- Loopt de planning op schema?
- Zo niet, welke bijsturingmaatregelen worden er genomen?
- Wie is aanspreekpunt voor deze bijsturingmaatregelen?

Het is belangrijk dat een geactualiseerde planning klopt met de huidige stand van zaken, zodat tijdens de voortgangsgesprekken met de opdrachtgever hij een reëel beeld krijgt en zijn verwachtingen goed gemanaged worden.

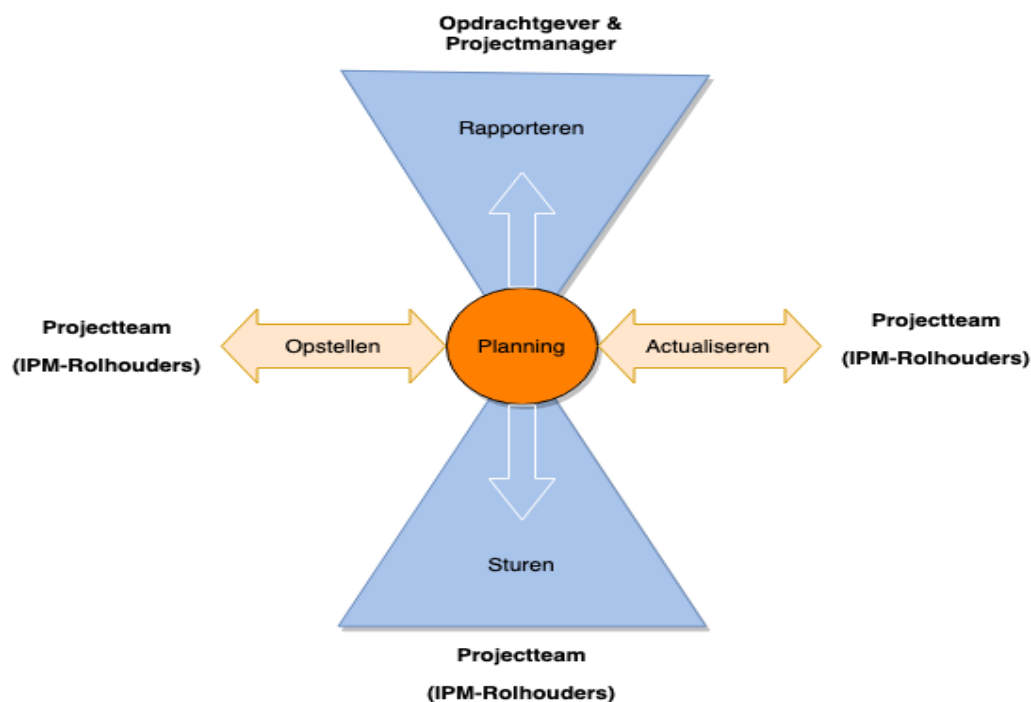
2.5 Conclusie hoofdstuk 2

In dit hoofdstuk is de sub-vraag 1.1 *Welke planningsmethode en processen vinden plaats binnen het planningsmanagement van Arcadis in de huidige situatie?* Beantwoord. Deze vraag valt onder onderzoeksvraag 1. *Hoe verloopt het planningsmanagement binnen Arcadis in de huidige situatie?*

Voor het beheersen van de factor tijd binnen projecten wordt aan de hand van de Critical Path Method een deterministische planning opgesteld op basis van de meest waarschijnlijke waarde van de doorlooptijd van activiteiten. De kwaliteit van deze planning is afhankelijk van zowel de kwaliteit van de input voor deze planning als de informatieoverdracht.

De essentie van planningsmanagement bestaat binnen Arcadis uit de vier processen: Opstellen, actualiseren, sturen en rapporteren. Figuur 7 geeft een weergave van de vier processen in relatie tot de verschillende project actoren. Deze processen worden beschreven als:

- De planner is verantwoordelijk voor het **opstellen** van de planning. De informatie (producten, activiteiten en relaties) dienen als input voor het opstellen van de planning. Deze informatie wordt van het projectteam via de IPM-rolhouders aangeleverd aan de planner.
- Zodra de planning is opgesteld dient de planner deze frequent te **actualiseren**. Voor een juiste actualisatie van de planning dient de planner alle interne wijzigingen op te halen bij het projectteam via de IPM-rolhouders. Ook de opdrachtgever heeft de mogelijkheid om wijzigingen aan te brengen. Hiervoor zal de opdrachtgever een VTW voor moeten indienen.
- Een planning is een middel om zowel het project als het projectteam te **sturen** op het beheers-aspect tijd. Een planning maakt de processen, afhankelijkheden en kritieke punten in een project inzichtelijk. Op basis van deze inzichten kan de planning dienen als sturingsinformatie. Arcadis stuurt het projectteam tijdens midweekse-sessie (proactief) en challenge gesprekken (reactief).
- Door de actuele stand van de planning te vergelijken met de vastgestelde planning kan er **gerapporteerd** worden aan zowel de opdrachtgever als de projectmanager.



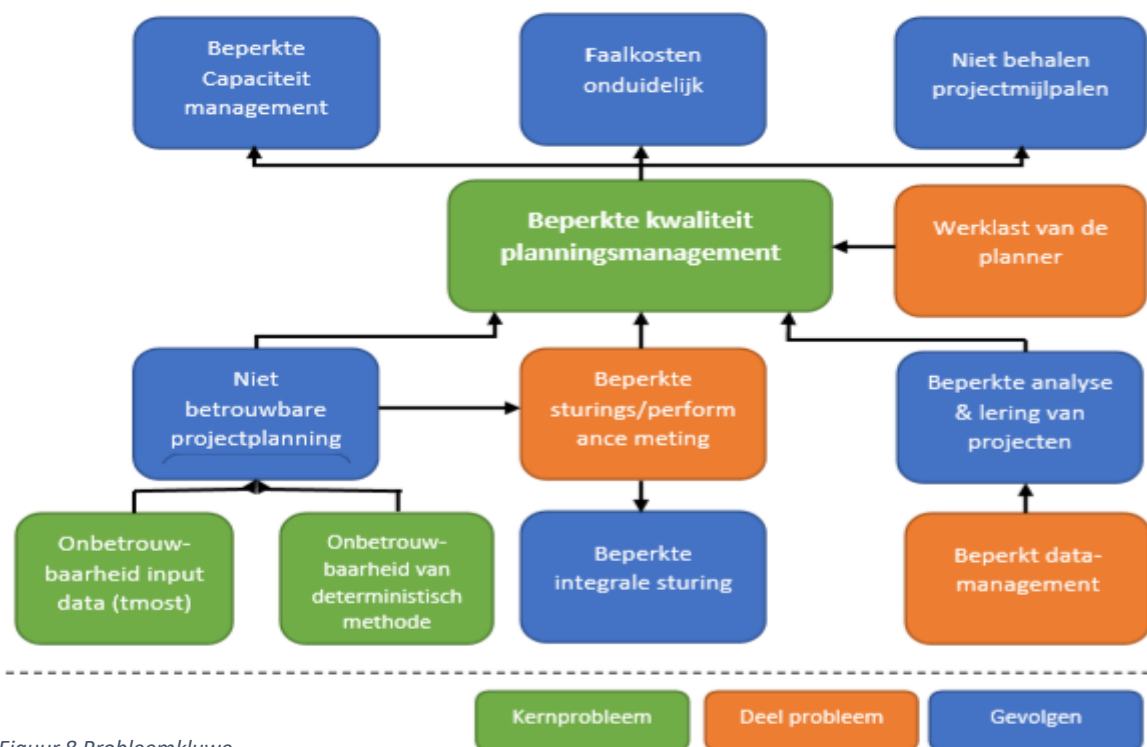
Figuur 7 Planningsmanagement processen in relatie met de project actoren

HOOFDSTUK 3

PROBLEEMANALYSE

In hoofdstuk 3 wordt dieper ingegaan op het analyseren van de problemen van de processen van planningsmanagement in de huidige situatie. Dit hoofdstuk geeft antwoord op sub vraag 1.3 *Wat zijn de problemen van de methode en processen van planningsmanagement in de huidige situatie?*

Aan de hand van de observaties, analyses van oude project documenten en de interviews zijn een aantal problemen binnen de processen en methode van planningsmanagement in de huidige situatie naar voren gekomen. Om deze problemen in kaart te brengen is een probleemkluwe opgesteld (Figuur 8). In deze probleemkluwe zijn de problemen aangeduid met verschillende kleuren.



Figuur 8 Probleemkluwe

De groene problemen zijn uitgebreid onderzocht en hiervoor zullen oplossingen en aanbevelingen voor geformuleerd worden. De gele problemen zullen wel behandeld worden in dit onderzoek maar gezien de beperkte tijd voor dit onderzoek zullen hier slechts adviezen voor geformuleerd worden. De keuze om deze problemen te onderzoeken is gemaakt in overleg met Arcadis, door een afweging te maken tussen de invloed op het proces en de benodigde tijd.

3.1 (On)betrouwbaarheid van deterministische planning en kwaliteit van input data

De betrouwbaarheid van de planning wordt beïnvloed door meerdere factoren. Dit onderzoek gaat in op specifiek twee factoren, namelijk de kwaliteit van de informatie input en de verschillende type onzekerheden die meegenomen kunnen worden in een deterministische planningsmethode. Daarbij dient opgemerkt te worden dat als de kwaliteit van de input data laag is, dit op elke planningsmethode zijn effect zal hebben. Echter, de manier waarop de planningsmethode omgaat met het verzamelen van de input zal impact hebben op de kwaliteit van de input.

Doordat de complexiteit, omvang en variatie van projecten bij Arcadis toeneemt, neemt het aantal en de grootte van de onzekerheden toe. Zoals beschreven in paragraaf 2.2, worden in een deterministische planning onzekerheden niet meegenomen in het opstellen van een planning. Zo wordt ondanks de onzekerheid in doorlooptijd van een activiteit geen rekening gehouden met een spreiding (minimale en maximale doorlooptijd) tijdens het opnemen van de doorlooptijd. De doorlooptijd in deze methode wordt gedefinieerd als een vaste waarde die gebaseerd wordt op de meest waarschijnlijke doorlooptijd. Het nadeel hiervan is dat de planning een beperkt realistisch beeld geeft van de werkelijkheid in projecten met veel onzekerheden.

Daarnaast is de betrouwbaarheid van de planning afhankelijk van de kwaliteit van input die geleverd wordt door het projectteam. De planner is verantwoordelijk om deze input (activiteiten, relaties en doorlooptijden) op te vragen bij de IPM-rolhouders, die op hun beurt deze informatie hebben verzameld met behulp van hun werkveldleiders en specialisten. Deze actoren maken verschillende aannames bij het inschatten van de doorlooptijd van hun activiteiten. Zo maakt de ene specialist een andere aanname over hoelang een activiteit duurt dan de andere. Tijdens het onderzoek is er aan verschillende specialisten gevraagd wat de doorlooptijd is van het opstellen van een contractbeheersplan. De antwoorden van de verschillende specialisten zijn weergegeven in onderstaande tabel 2.

Tabel 2 De inschattingen van de doorlooptijd van een activiteit door verschillende bronnen

Activiteit	Doorlooptijd		
	Bron 1	Bron 2	Bron 3
Opstellen contractbeheersplan	15 dagen	10 dagen	12 dagen

Dit soort verschillen worden veroorzaakt door verschil in ervaring en subjectieve inschatting van de specialist. Hierdoor is niet duidelijk of en hoe een bepaalde onzekerheid is meegenomen in de planning. Hierdoor worden er impliciet onzekerheden meegenomen in een deterministische planning. Met als gevolg dat de deterministische planning onbetrouwbaar wordt.

3.2 Sturings- & rapportage informatie

Zoals beschreven in paragraaf 2.4 is zowel het sturen van de het project als het rapporteren van belang voor planningsmanagement van projecten. Deze paragraaf analyseert hoe gestuurd en gerapporteerd wordt in projecten en wat daarin verbeterd kan worden.

3.2.1 Beperkte mogelijkheden om sturing en performance doorlooptijd te meten

Voor de sturing van de doorlooptijd in projecten hanteert Arcadis een aantal KPI's op verschillende niveaus: project-, mijlpaal-, product- en werkveldniveau (zie tabel 3). Deze KPI's zijn allen gericht op het beheersen van de doorlooptijd tijdens de uitvoering van een project. Opvallend is dat er geen KPI's zijn om na afloop van een project de performance van de beheersing van de doorlooptijd te bepalen en te vergelijken met andere projecten om daaruit te kunnen leren. Daarnaast worden er in de huidige situatie geen performance vastgelegd op het niveau van de werkvelden. Arcadis heeft hierdoor geen zicht op de prestaties van werkvelden op doorlooptijd.

Tabel 3 Huidige sturings en performance indicatoren op basis van doorlooptijd

Niveau	KPI's huidig
Project	a) Doorlooptijd tot oplevering eindresultaten project (volgens contract)
Mijlpaal	b) Doorlooptijd tot mijlpaal gepland versus actueel c) Verwachte doorlooptijd tot oplevering mijlpaal
Product	d) Verwachte doorlooptijd tot productoplevering e) # openstaande activiteiten per product f) # opgeleverde producten
Werkveld	

Op basis van deze informatie kan worden geconcludeerd dat de mogelijkheden om op het beheers-aspect doorlooptijden van een project te sturen en performance meten/evalueren beperkt zijn.

3.2.2 Integrale sturingsinformatie

Binnen Arcadis worden projecten voornamelijk gestuurd op geld, voortgang en doorlooptijd. In de verschillende overleggen rond projectvoortgang staat de planning en de voortgang centraal. Momenteel worden de verschillende beheers-aspecten (doorlooptijd, capaciteit (uren), geld, kwaliteit en risico's) afzonderlijk van elkaar benaderd. Terwijl de beheers-aspecten onderling afhankelijk zijn van elkaar. Zo heeft een tekort aan capaciteit in een bepaald werkveld dat nodig is in een bepaalde week direct gevolgen voor de doorlooptijd van het project. En omgekeerd, wanneer de doorlooptijd te hoog oploopt, kan besloten worden om meer capaciteit op het project te zetten. Als een specialist een product oplevert met een hogere kwaliteit (uitwerking) dan afgesproken, kost dit extra capaciteit en heeft dit wellicht ook invloed op de doorlooptijd. Het integraal sturen van projecten gebeurt beperkt omdat de data van de verschillende beheers-aspecten beperkt, met elkaar in verband worden gebracht. Een voorbeeld hiervan uit de praktijk:

- Uren en geld begroting worden per discipline op projectniveau gemaakt en in SAP vastgelegd. Dit wordt in de sturing van een project niet gekoppeld aan de planning van de doorlooptijd. Alleen wordt een enkele keer een 'Earned Value' Analyse uitgevoerd waarin deze verbanden wel worden gelegd, maar dit is meer uitzondering dan regel.

Een ander voorbeeld van integrale sturen is om snel inzicht te krijgen van bijvoorbeeld de voortgang van activiteiten ten opzichte van de voortgang in oplevering van producten, zou kunnen zijn:

- % van actuele uitgaven t.o.v. budget, naast het % voortgang in oplevering producten

Door deze beheers-aspecten naast elkaar te presenteren zou een projectteam snel kunnen zien of de voortgang van het opleveren van producten synchroon loopt met de uitgaven in het budget.

Op het gebied van sturing kan geconcludeerd worden dat de integraliteit van de projectbeheersing verbeterd kan worden door beschikbare data op de verschillende beheers-aspecten met elkaar in verband te brengen.

3.2.3 Datamanagement van planningsmanagent

Momenteel wordt er gerapporteerd in voortgangsrapportages richting de opdrachtgever. Deze voortgangsrapportages zijn documenten die de tussentijdse voortgang van het project beschrijft. Deze documenten beschrijven kwalitatief waarom vastgestelde deadlines van producten of mijlpalen niet gehaald zijn of niet gehaald zullen worden met daarbij de oorzaken van deze vertraging. Daarnaast worden de verschillende aangepaste plannings van een project niet chronologisch opgeslagen. Doordat deze informatie niet in een vaste vorm (eenduidige KPI's) worden vastgelegd, is het lastig om het beheers-aspect doorlooptijd goed te evalueren en is het niet mogelijk een kwantitatieve analyse uit te voeren. Met als gevolg dat het niet mogelijk is voor verbetermaatregelen voor toekomstige projecten op basis van een kwantitatieve analyse voor te stellen.

Opvallend is dat binnen Arcadis zelf weinig data van de performance een werkveld wordt vastgelegd. Momenteel zijn alleen de begrootte en gerealiseerde kosten van het project gedocumenteerd. Daardoor is het lastig om projecten achteraf te kunnen analyseren om daar vervolgens van te kunnen leren.

Over het vastleggen van de projecten kan geconcludeerd worden dat de rapportage vooral voor de klant gemaakt wordt en gericht is op voortgang en geld. Intern bij Arcadis worden de performance van projecten niet systematisch vastgelegd.

3.3 Werklast

De werklast van de planner vormt een probleem. Er zijn veel contactmomenten nodig voor het actualiseren van de planning vanwege het dynamische karakter van het project. Daarbij ligt de verantwoordelijkheid om deze contacten te leggen voornamelijk bij de planner. De planner is verantwoordelijk voor het managen van de voortgang om de planning actueel te houden. Hiervoor zijn er verschillende momenten waar de planner de voortgang ophaalt bij de IPM-rolhouders. De rolhouders zijn verantwoordelijk om deze informatie op te halen bij hun werkveldleiders en de werkveldleiders bij de specialisten. Deze informatie wordt doorgegeven via de mail, telefoon, midweekse sessies of tijdens challenge gesprekken. Hier is echter geen vaste methode voor. Ondanks dat het samenkomen van alle betrokkenen belangrijk is voor het verzamelen van input voor de planning, leveren deze contactmomenten een hoge werklast op. De IPM-rolhouders en de werkveldleiders besteden veel tijd aan het ophalen, bespreken en doorgeven van voortgangsinformatie. De planner kost het nog meer tijd, omdat hij de contactmomenten moet organiseren, de informatie moet ophalen, bespreken en tot slot verwerken om de planning actueel te houden. In de tijd dat dit gebeurt kunnen er alweer wijzigingen opspelen en moet het hele proces opnieuw worden uitgevoerd. Het gevolg is voor met name de planner dat hij de meeste tijd bezig is actualiseren van planningsplanningen en nauwelijks nog tijd heeft om meer toekomstgericht scenario's te bepalen en te sturen. De vraag is dus hoe een planner meer tijd kan creëren om in plaats van voornamelijk planningsplanningen te actualiseren aan toekomstgerichte scenario planning te doen en te sturen.

3.4 Conclusie hoofdstuk 3

In dit hoofdstuk is op sub vraag 1.3 *Wat zijn de problemen van de methode en processen van planningsmanagement in de huidige situatie?* Beantwoord. Door het analyseren van de planningsmanagementprocessen zijn er een aantal problemen in kaart gebracht. Uit de probleemanalyse is naar voren gekomen dat:

- a. de huidige Deterministische planningsmethode geen rekening houdt met de verschillende onzekerheden in de projecten, terwijl dit type projecten veel onzekerheden hebben;
- b. doordat de input van een planning (doorlooptijden van activiteiten) niet eenduidig bepaald wordt, verlaagt dit de kwaliteit en betrouwbaarheid van de planningsplanningen;
- c. de huidige KPI's over de planning zijn vooral gericht op het beheersen van de doorlooptijd tijdens de uitvoering van een project. Er zijn geen KPI's om de kwaliteit van het planningsmanagement na afloop van een project te bepalen en te vergelijken met andere projecten. Daarnaast zijn er geen KPI's om in beeld te brengen wat de kwaliteit is van de tijdsbeheersing van de verschillende werkvelden.
- d. het integraal sturen van projecten gebeurt momenteel beperkt, omdat de verschillende beheers aspecten niet direct gekoppeld zijn. De deterministische planning neemt geen onzekerheden en risico's mee. Ook is er geen koppeling tussen de planning enerzijds en kostenmanagement en capaciteitsmanagement anderzijds.
- e. intern bij Arcadis worden de performance van projecten niet systematisch vastgelegd, omdat hier momenteel geen afspraken over zijn en het huidige ERP-systeem van Arcadis hiervoor ook niet de mogelijkheid biedt.
- f. het kost de planner veel tijd kost om de planning actueel te houden. Gevolg is dat de planner de meeste tijd bezig is met het actualiseren van planningsplanningen en nauwelijks nog tijd heeft om te sturen.

Voor conclusie a. zal in deze studie een alternatieve planningsmethode getest worden waarin de verschillende type onzekerheden worden meegenomen. Ook zullen aanbevelingen gedaan worden om een meer eenduidige input van planningsdata te krijgen (conclusie b.). De bevindingen van de conclusie a. b. zullen worden toegepast op een casus van Arcadis. Voor de laatste vier conclusies (c. d. e. en f.) zullen slechts enkele kwalitatieve aanbevelingen gedaan worden gezien de beperkte tijd waarin dit onderzoek dient uitgevoerd te worden.

HOOFDSTUK 4

THEORETISCH KADER

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van het literatuuronderzoek dat is gedaan om de volgende onderzoeksvragen te beantwoorden: 2.1 *Welke vormen van project onzekerheden kunnen worden onderscheiden?* En vraag 1.2 *Wat zijn de verschillen tussen de aanbevolen planningsmethode t.o.v. de huidige methode in relatie met de beoordeling van project onzekerheid?* Deze vragen vallen onder onderzoeksvraag 1. *Wat zijn de mogelijkheden om de planningsmethode van Arcadis projecten te verbeteren?*

In dit hoofdstuk worden de verschillende vormen van onzekerheid in kaart gebracht en hoe deze kunnen worden gekwantificeerd binnen de projectplanning. In appendix A is een afweging tussen de verschillende methodes gemaakt op basis van verschillende criteria. Op basis van deze de criteria is voor dit onderzoek gekozen voor de probabilistische planningsmethode. Vervolgens wordt onderzocht wat de verschillen zijn tussen een nieuwe planningsmethode (probabilistische planningsmethode) t.o.v. de huidige methode (deterministische planningsmethode).

In de eerste paragraaf (4.1) worden kort de verschillende projectonzekerheden beschreven. In de daaropvolgende drie paragrafen wordt achtereenvolgens ingegaan op kennisonzekerheid (4.2), toekomstonzekerheid (4.3) en systemische onzekerheid (4.4) en op de wiskundige problemen die zich voordoen bij het plannen van een project. Paragraaf 4.5 vergelijkt de deterministische en probabilistische planningsmethode in hoe zij omgaan met de verschillende vormen van onzekerheid. Paragraaf 4.6 gaat in op het systeem achter de deterministische en probabilistische planningsmethode. Tot slot worden in 4.7 de conclusies gepresenteerd van hoofdstuk 4.

4.1 Onzekerheden

Door het dynamische karakter, de variatie en grootte van Arcadis projecten nemen verschillende vormen van onzekerheid in projecten toe. Dit onderzoek beschrijft vier vormen van onzekerheden binnen verschillende managementprocessen. In de volgende paragrafen (4.1 t/m 4.4) zullen de verschillende vormen van onzekerheid, beslissingsonzekerheid, kennis-onzekerheid, gebeurtenisonzekerheid en systemische onzekerheid, toegelicht worden op basis van Chapman & Ward (2010). Tevens wordt de link met planningsmanagement uitgelegd.

4.1.1 Beslissingsonzekerheden

Beslissingsonzekerheid beschrijft het type onzekerheid dat wordt veroorzaakt door het dynamische karakter van de opdrachtscope. Deze opdrachtscope kan gedurende de uitvoering van een project veranderen door nieuwe inzichten. Tijdens het project dienen er keuzes gemaakt te worden door zowel de opdrachtgever als de projectmanager over onderwerpen als het ontwerp van alternatieven, specificaties, gegevens, contracteisen en structuur. Wanneer de scope verandert, kan het zijn dat er nieuwe activiteiten aan de planning worden toegevoegd die de doorlooptijd van het project verlengen.

Bij de start van een project kan de opdrachtscope nog onduidelijk zijn door het complexe en dynamisch karakter van dit type projecten. Gedurende een project worden allerlei beslissingen genomen over de projectscope en wordt deze steeds meer helder. Naar mate een project vordert, neemt de beslissingsonzekerheid dan ook af (Van Asselt & Rotmans, 2002). Deze vorm van onzekerheid is voornamelijk afhankelijk van manier van de besluitvorming van de opdrachtgever en wordt in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten, omdat deze studie zich focust op het planningsproces binnen Arcadis.

4.1.2 Spreidingsonzekerheid

Het inschatten van doorlooptijden van activiteiten speelt een belangrijke rol in het plannen van een project. Zodra de doorlooptijd onzeker is, kan de doorlooptijd worden uitgedrukt in een variabele waarde. Deze vorm van onzekerheid kan worden gezien als spreidingsonzekerheid.

Het inschatten van de variabele doorlooptijden van activiteiten kunnen statisch benaderd worden (NASA, 2013). Doordat er nauwelijks tot geen historische gegevens zijn over doorlooptijden van de verschillende geactualiseerde planningen van een project, noch van de spreiding in doorlooptijd van activiteiten, is het moeilijk de type kansverdeling te bepalen. Het type kansverdeling heeft invloed op de uitkomsten van de probabilistische planning¹. De driehoeksverdeling is eenvoudig te verzamelen bij het projectteam en wordt geaccepteerd wanneer historische gegevens niet beschikbaar zijn (Hulett & Nosbisch, 2011). In dit onderzoek is daarom gebruik gemaakt van deze driehoeksverdeling om de spreidingsonzekerheid statistisch te benaderen. Om de driehoeksverdeling te kunnen opstellen zijn een reeks aan schattingen nodig. Voornamelijk de minimale, maximale en meest waarschijnlijke doorlooptijd. Een voorbeeld van zo'n schatting wordt weergegeven in tabel 4.

Tabel 4 Kwantificering van spreidingsonzekerheid in de doorlooptijd een activiteit

ID	Doorlooptijd (werk dagen)		
Activiteit 1	Minimaal (L)	Maximaal (H)	Meest waarschijnlijk (M)
	12	30	23

Binnen planningsmanagement heeft deze vorm van onzekerheid invloed op de planning vanwege de vele activiteiten waarvan de doorlooptijd afhankelijk is. De deterministische benadering waar alleen de meest waarschijnlijke doorlooptijd van de activiteiten in verwerkt wordt, is niet gebaseerd op een spreiding in de doorlooptijd. De deterministische planning beschrijft dus de meest waarschijnlijke doorlooptijd van alle activiteiten. Hoe meer activiteiten met een onzekere doorlooptijd hebben, hoe groter de kans is dat de meest waarschijnlijke doorlooptijd van het gehele project niet gehaald wordt. Het nadeel hiervan is dat de planning een beperkt realistisch beeld geeft van de werkelijkheid. De probabilistische methode houdt, in tegenstelling tot de deterministische methode, wel rekening met de kansverdeling in doorlooptijd van activiteiten.

De Program Evaluation and Review Technique (PERT) is ontwikkeld om de spreidingsonzekerheid mee te nemen in het opstellen van een deterministische planning door de gemiddelde doorlooptijd van activiteiten te berekenen op basis van de minimale, maximale en meest waarschijnlijke doorlooptijd (Kelley & Walker, 1959). Echter, drukt deze planningsmethode de doorlooptijd uit in één waarde, de gemiddelde doorlooptijd. Deze methode houdt geen rekeningen met de andere vormen van onzekerheid. De verdere ontwikkeling van de PERT-methode is doorontwikkeld tot de probabilistische projectplanning.

4.1.3 Gebeurtenisonzekerheid

De kans dat een bepaalde gebeurtenis optreedt en effect heeft op de doorlooptijd, wordt omschreven als gebeurtenisonzekerheid. De kans van optreden kan worden uitgedrukt in een statistische verdeling, namelijk 'Bernoulli-verdeling'. Deze verdeling houdt rekening met een kans van optreden van onzekere gebeurtenissen (Saitou, 2013). Deze kans en impact van een onzekere gebeurtenis wordt beoordeeld op basis van ervaring en historische gegevens.

Risicomanagement is een belangrijk managementproces voor het managen van onzekere gebeurtenissen (risico's). Het analyseren en kwantificeren van onzekere gebeurtenissen kan als input dienen voor de probabilistische planning. De input, die van belang is voor de planning, is de

¹ Voor dit onderzoek zal er niet in gegaan worden op het vergelijken van de verschillende stochastische verdelingen.

kans van opspelen van een onzekere gebeurtenis en het gevolg op de doorlooptijd. Als het gevolg van een onzekere gebeurtenis variabel is, wordt dit geschaald onder de spreidingsonzekerheid. Tabel 5 geeft een voorbeeld van informatie die van belang is voor de probabilistische planning.

Tabel 5 Kwantificering van gebeurtenisonzekerheid per risico (kans van opspelen en doorlooptijd)

ID				
Risico 1	Kans van optreden (%)	Doorlooptijd (werkdagen)		
		Minimaal (L)	Maximaal (H)	Meest waarschijnlijk (M)
	30	3	8	5

Het risicodossier waar alle onzekere gebeurtenissen in opgenomen worden door het risicomanagement is van belang voor de probabilistische benadering van de planning. Risico's kunnen worden gekoppeld aan bijbehorende activiteiten. Bijvoorbeeld, het uitvoeren van de activiteit grondonderzoek heeft als het risico dat er een bom uit WO-II gevonden kan worden. Deze bom zal moeten worden weggehaald en het gevolg hiervan zijn nieuwe activiteiten met een doorlooptijd. Het managen van onzekere gebeurtenissen (accepteren, beperkte maatregelen of verhelpende maatregelen nemen) kan zowel tijd als kosten besparen. Hiervoor is een iteratieve benadering van belang, omdat de risico's en de planning gedurende het project veranderen. De integratie tussen risicomanagement en planningsmanagement is dus een continu proces.

Het effect van gebeurtenisonzekerheid is onder andere afhankelijk van het aantal onzekere gebeurtenissen. De statistische benadering van deze onzekerheid is afhankelijk van alle "realistisch" mogelijke combinaties van onzekere gebeurtenissen. In het geval van r onzekere gebeurtenissen worden 2^r mogelijke situaties (S_i) gedefinieerd. Tabel 6 geeft de mogelijke situaties aan met daarbij de statistische benaderingen en impact (NASA, 2013).

Tabel 6 situaties van meerdere discrete risico's

Situaties, S_i	Definitie	Impact risico, T_{Si}	Kans van optreden, P_{Ri}
$S_0 = \overline{R_1} \cap \overline{R_2} \cap \overline{R_3}$	Geen risico	0	$[1-P_{R1}][1-P_{R2}][1-P_{R3}]$
$S_1 = R_1 \cap \overline{R_2} \cap \overline{R_3}$	R1	T_1	$P_{R1} [1-P_{R2}][1-P_{R3}]$
$S_2 = \overline{R_1} \cap R_2 \cap \overline{R_3}$	R2	T_2	$[1-P_{R1}]P_{R2}[1-P_{R3}]$
$S_3 = R_1 \cap R_2 \cap \overline{R_3}$	R1 & R2	$T_1 + T_2$	$P_{R1} P_{R2} [1-P_{R3}]$
$S_4 = \overline{R_1} \cap \overline{R_2} \cap R_3$	R3	T_3	$[1-P_{R1}][1-P_{R2}]P_{R3}$
$S_5 = R_1 \cap \overline{R_2} \cap R_3$	R1 & R3	$T_1 + T_3$	$[1-P_{R1}]P_{R2}P_{R3}$
$S_6 = \overline{R_1} \cap R_2 \cap R_3$	R2 & R3	$T_2 + T_3$	$P_{R1}[1-P_{R2}]P_{R3}$
$S_7 = R_1 \cap R_2 \cap R_3$	R1 & R2 & R3	$T_1 + T_2 + T_3$	$P_{R1}P_{R2}P_{R3}$

Een concreet voorbeeld van de gebeurtenisonzekerheid is het risico dat de vergunning 'kabels & leidingen tracé niet wordt goedgekeurd met een kans van 30%. Voorafgaand aan de aanvraag van deze vergunning zal de activiteit (A), de aanvraag opstellen, moeten worden uitgevoerd. Zodra de aanvraag compleet is zal activiteit (B), vergunningverlening in werking gaan. De gemeente die deze vergunning moet goedkeuring heeft hier maximaal 6 weken de tijd voor. De maximale doorlooptijd is dus 6 weken, de meest waarschijnlijke doorlooptijd bijvoorbeeld 5 weken en de minimale doorlooptijd is 3 weken. De doorlooptijd is afhankelijk van de grootte van de aanvraag en de drukte bij de gemeente. De kans dat de vergunning niet wordt goedgekeurd, is 30%. Zodra de vergunning wel wordt goedgekeurd, start activiteit (C) de verlegging van de kabels & leidingen waar de vergunning voor aangevraagd is. In dit geval is de starttijd activiteit (C) = doorlooptijd (A) + doorlooptijd (B). Zodra de vergunning niet wordt goedgekeurd, zijn er verschillende situaties mogelijk, namelijk:

- **Vergunning aanvullen/aanpassen:** De gemeente kan besluiten dat de vergunning aangevuld dient te worden. In dit geval zal voordat activiteit (C) van start kan gaan

activiteit (D), aanvullen vergunning kabels & leidingen, uitgevoerd moeten worden. De doorlooptijd van deze activiteit is afhankelijk van de aanvulling die door de gemeente wordt opgelegd. Vervolgens zal de vergunning opnieuw worden bekeken door de gemeente in activiteit (E), vergunning her indiening kabels & leidingen tracé poging 2. Zodra de vergunning nu wel goedgekeurd is zal activiteit (C) kunnen worden uitgevoerd. In dit geval is de starttijd van activiteit (C) = Doorlooptijd (A) + Doorlooptijd (B) + Doorlooptijd (D) + Doorlooptijd (E).

- **Vergunning afkeuren:** In deze situatie wordt de vergunning niet goedgekeurd en zal Arcadis moeten gaan kijken of er een andere mogelijkheid is om dit probleem met de kabels & leidingen op te lossen. In dit geval zal activiteit (C) niet worden uitgevoerd.

De gevolgen voor de doorlooptijd van dit risico zijn verschillend en afhankelijk van het besluit van de gemeente. Het gevolg voor activiteit (C) is dat de verlegging van kabels & leidingen wordt uitgesteld totdat de vergunning is goedgekeurd. Een deterministische planning zal dus alleen uitgaan van de scenario A-B-C terwijl de probabilistische planning rekening houdt met de kans van de verschillende scenario's.

4.1.4 Systemische onzekerheid

Systemische onzekerheid betreft de statistische afhankelijkheid (correlatie) tussen twee variabelen, zoals de correlatie tussen de doorlooptijd van twee activiteiten (Yeager, 2017). Het effect van een positieve PCC is dat de variabiliteit tussen twee gegevens verhoogt. Terwijl een negatieve PCC de variabiliteit vermindert (Chapmann & Ward, 2011). De systemische afhankelijk tussen doorlooptijden van activiteiten kan worden uitgedrukt in de Pearson correlatiecoëfficiënt (PCC). De PCC kan worden afgeleid van de covariantie en varianties van twee variabelen X en Y (Yeager, 2017). De formule voor de PCC is als volgt:

$$PCC_{X,Y} = \frac{COV(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y}$$

Waar:

- $COV(X,Y)$ = Covariantie van X en Y
- σ_Y = Standaardafwijking van Y
- σ_X = Standaardafwijking van X

Ook de correlatie tussen Bernoulli-verdeelde variabelen van gebeurtenis onzekerheden (risico's) kan worden gekwantificeerd. De correlatie tussen deze variabelen kan niet worden uitgedrukt in de PCC. De correlatiestructuur tussen Bernoulli-verdeelde variabelen en het effect hiervan op de planning wordt niet beschreven in de literatuur en zal onderzocht moeten worden. Verder onderzoek is nodig om historische projecten te analyseren om er achter te komen of een dergelijke correlatie bestaat tussen de Bernoulli-verdeelde variabelen en om effect hiervan te bepalen op de planning.

Een concreet voorbeeld van deze systemische onzekerheid betreft de volgende onzekere gebeurtenis. De opdrachtgever verwacht een hoger detailniveau van het Definitief Ontwerp (DO). Dit heeft als gevolg dat activiteit (A): uitwerken van Definitief Ontwerp, langer zal duren. Een hoger detail niveau van het DO zorgt hierdoor dat ook voor dat activiteit (B), de kostenraming van dit ontwerp (mogelijk) later opgeleverd wordt. Wanneer een hoger detailniveau van het DO gevraagd wordt, dient het detailniveau van de kostenraming ook hoger te worden. Dit betekent een langere doorlooptijd van het DO en ook voor de kostenraming. Het opschuiven van het einde van activiteit (B) wordt beïnvloed door zowel een latere starttijd als een langere doorlooptijd van activiteit (B).

4.2 Analysetechnieken voor de probabilistische planningsmethode

Paragraaf 4.1 gaat in op de verschillende vormen van projectonzekerheid en beschrijft het hoe deze vormen in termen van planning gekwantificeerd kunnen worden om deze probabilistische te kunnen analyseren. Deze paragraaf gaat in op de analysetechnieken van de verschillende onzekerheden die gebruikt worden in de probabilistische planningsmethode. Deze planningsmethode wordt vervolgens vergeleken met de deterministische methode.

4.2.1 Monte Carlo-simulatie

Om een probabilistisch planning op te kunnen stellen zijn verschillende simulatietechnieken mogelijk. De Monte Carlo-Simulatie (MC-simulatie) is een vaak voorkomende techniek die gebruikt wordt om het planningsproces te kunnen simuleren, als het gaat om complexe netwerkplanningen (Ziegel & Winston, 1997). Deze techniek simuleert vele iteraties van een planning met een random waarde die afhankelijk is van een statistische verdeling.

Het aantal iteraties om een simulatie uit te voeren, is per casus afhankelijk. Het aantal iteraties kan worden bepaald met de onderstaande vergelijking (Ziegel & Winston, 1997).

$$N = (Z_{\alpha/2} * S / E)^2$$

Waar:

- N = het aantal iteraties
- S = de geschatte standaardafwijking
- E = de gewenste foutmarge
- $Z_{\alpha/2}$ = de kritische waarde van de normale verdeling voor $\alpha/2$

De standaardafwijking in deze formule wordt beïnvloed door het aantal onzekerheden in de planning. Hoe groter de standaardafwijking hoe meer iteraties er zullen worden uitgevoerd.

De MC-simulatie houdt rekening met de verschillende vormen van onzekerheid en geeft de impact weer op een planning. Dit wordt mogelijk gemaakt doordat iedere activiteit een eigen statistische verdeling kan hebben. Ook is het mogelijk om onzekere gebeurtenissen te koppelen aan activiteiten en de PCC aan te geven. Deze MC-simulatie techniek wordt ondersteund door verschillende programma's (bijvoorbeeld PERT-master, Risk analysis). De uitkomsten van de iteraties van een MC-simulaties kunnen worden uitgedrukt in een cumulatieve verdelingsfunctie en een betrouwbaarheidsinterval. Op het gebied van planning geeft deze techniek inzicht in de kans dat een bepaalde deadline gehaald kan worden. (Ziegel & Winston 1997)

4.2.2 Berekening van het kritische pad

De Critical Path Method (CPM) wordt gebruikt om een deterministische planning op te stellen. Om de totale doorlooptijd van een project te berekenen, moeten de activiteiten geanalyseerd worden om afhankelijkheden tussen activiteiten aan te brengen in een netwerkstructuur (Ellis, 2016). Het kritische pad zijn de aaneengeschakelde onderling afhankelijke activiteiten met de langste doorlooptijd. Het kritische pad bepaalt dus de doorlooptijd van het totale project. De CPM berekent het kritische pad tussen het begin en het einde van het project. Activiteiten die niet op het kritische pad liggen, hebben geen invloed op de doorlooptijd van het totale project tot dat de vertraging zo groot wordt dat ze wel de totale doorlooptijd gaan beïnvloeden en dus op het kritische pad komen. De mogelijke uitloop van activiteiten voordat ze op het kritische pad komen, wordt uitgedrukt in float.

De totale doorlooptijd (T_t) van een project met activiteiten (1, 2, 3 en 4) geordend in twee parallelle paden wordt bepaald door de maximale doorlooptijd van de het pad met de langste doorlooptijd (Ellis, 2016). De doorlooptijd van een pad wordt bepaald door de som van alle

doorlooptijden van onderling afhankelijke activiteiten in desbetreffend pad. De totale doorlooptijd (T_t) van een project bepaald uit de volgende rekenregel:

$$T_t = \max \begin{pmatrix} T_1 + T_2 + T_4 \\ T_1 + T_3 + T_4 \end{pmatrix}$$

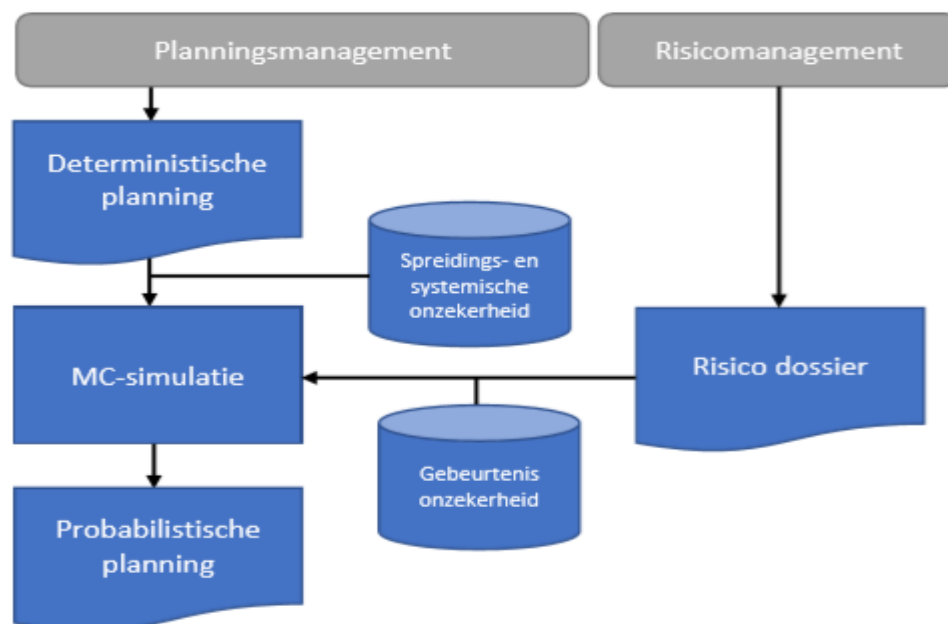
Waar:

- T_i = De doorlooptijd van een activiteit ($i \in$ de activiteiten)

Tijdens een probabilistische simulatie wordt voor elke iteratie van de planning het kritieke pad bepaald. Zodra activiteiten op het kritieke pad komen te liggen, heeft een vertraging effect op de doorlooptijd van de planning. De Critical Index geeft in een percentage aan hoe vaak van alle iteraties een activiteit op het kritieke pad stond. De CI geeft dus een indicatie welke activiteiten een waarschijnlijke vertraging kunnen veroorzaken (Virine & Trumper, 2017). Activiteiten met een hoge CI is de kans groter dat deze activiteit de totale doorlooptijd van een project beïnvloed. eerder vertraging dan activiteiten met een lage CI, ongeacht hoe groot deze vertraging dan ook is. Daarnaast kan de CI aangeven voor hoeveel paden een bepaald pad een voor een lagere doorlooptijd kan zorgen. De inzichten in de CI in combinatie met de projectonzekerheden in de projectplanning kunnen gebruikt worden in het opstellen van een projectplanning.

4.2.3 Probabilistische Methode

De probabilistische methode houdt, in tegenstelling tot de deterministische aanpak, rekening met de verschillende vormen van onzekerheid in het project (zie figuur 9)(Alon & Spencer, 2011). Deze paragraaf beschrijft hoe de probabilistische methode werkt en daarnaast hoe het omgaat met de verschillende vormen van onzekerheid.



Figuur 9 Processen van de probabilistische methode

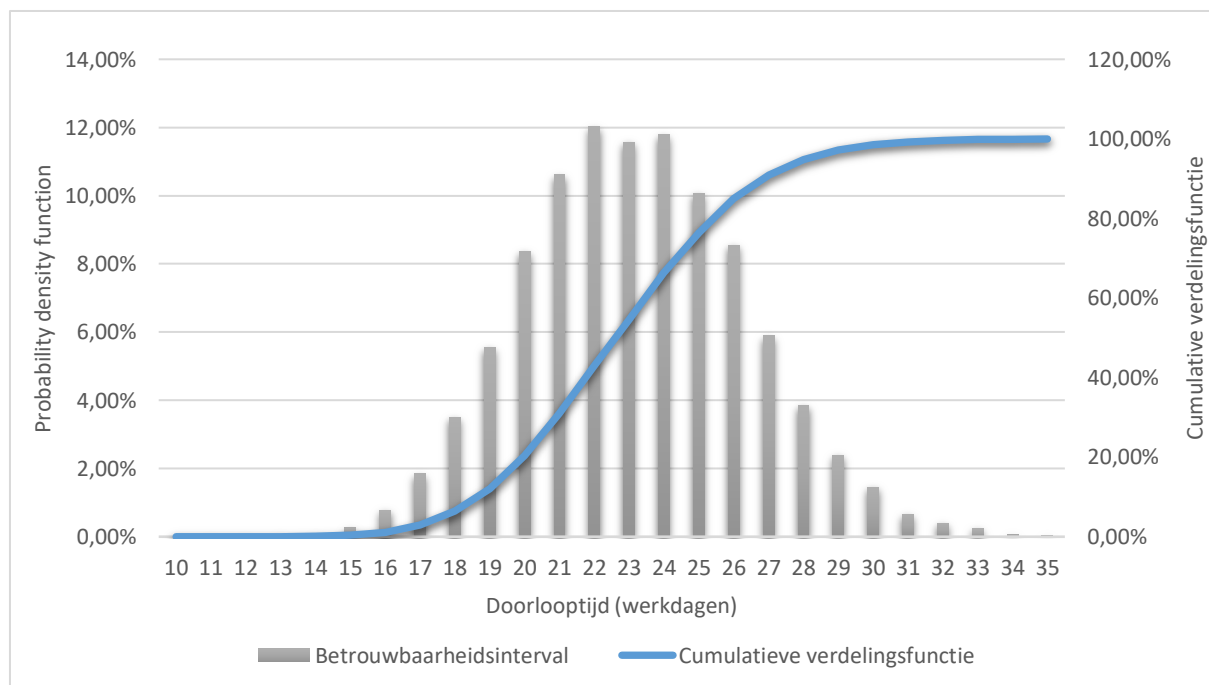
De gekwantificeerde onzekerheden kunnen worden gebruikt voor het opstellen van de probabilistische planning. Het verzamelen van gegevens over de verschillende vormen van onzekerheid en de verwerking daarvan in een probabilistische planning wordt beschreven in de volgende punten:

- *Spreidingsonzekerheid* is afhankelijk van de persoon die de doorlooptijden inschat. De planner zal nadrukkelijk moeten vragen wat de minimale, maximale en meest

waarschijnlijke doorlooptijd is. Hierdoor is de planner in staat een statistische verdeling op de doorlooptijd van een activiteit toe te passen in het planningsproces. Deze informatie kan later dienen als input voor zowel de deterministische planning (T_{most}) als voor de probabilistische planning (T_{min} , T_{max} en T_{most}).

- Informatie over *gebeurtenisonzekerheid* wordt verzameld door het risicomanagement van een project. De onzekere gebeurtenissen worden bepaald en gekwantificeerd zoals beschreven in tabel x. Het is van belang dat het risicomanagement de onzekere gebeurtenissen, die invloed hebben op de doorlooptijd, communiceren naar de planner. Een onzekere gebeurtenis wordt in de simulatie software toegewezen gekoppeld aan een bepaalde activiteit.
- *Systemische onzekerheid* is de statistische afhankelijkheid (correlatie) tussen twee variabelen, zoals de correlatie tussen de doorlooptijd van twee activiteiten. Deze correlatie kan worden uitgedrukt in de PCC. De correlatie tussen Bernoulli-verdeelde variabelen kunnen niet worden uitgedrukt in de PCC. Echter ondersteund de planningssoftware geen andere correlatie structuur dan de PCC.

Met data over de gekwantificeerde projectonzekerheden is het PERT-master softwareprogramma in staat om een probabilistische planning op te stellen en een MC-Simulatie uit te voeren. De MC-Simulatie berekent de kans (Y2-as) waarop een bepaalde doorlooptijd (X-as) een project gehaald wordt kleiner of gelijk is aan een waarde van een project gehaald wordt. De kansen van de verschillende doorlooptijden worden weergegeven in een cumulatieve verdelingsfunctie (blauwe lijn in figuur 10). Daarnaast beschrijft de simulatie het betrouwbaarheidsinterval door het aantal iteraties (Y1-as) van een bepaalde doorlooptijd (Grijze lijn in figuur 10).



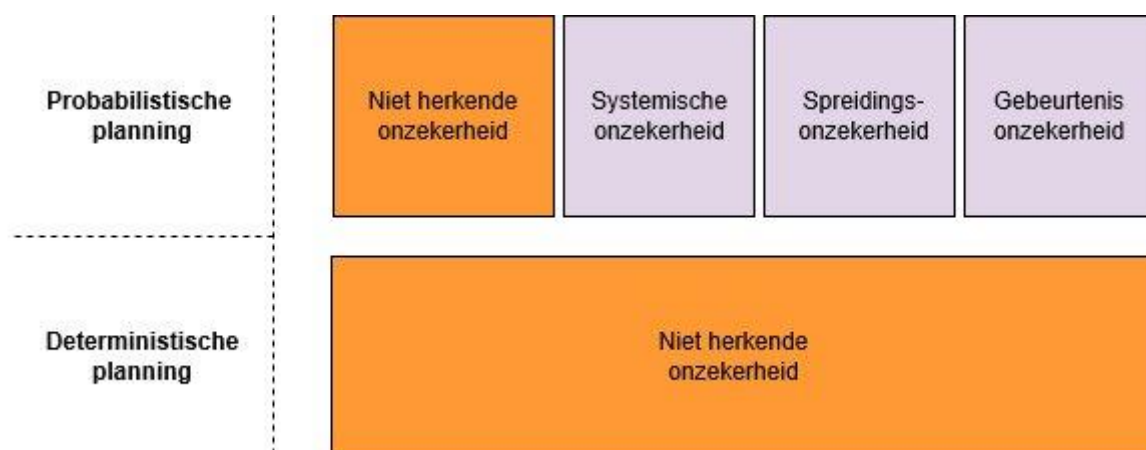
Figuur 10 cdf- en pdf-resultaten van een probabilistische planningssimulatie

4.3 Conclusie hoofdstuk 4

In dit hoofdstuk zijn sub-vragen 2.1 *Welke vormen van project onzekerheden kunnen worden onderscheiden?* en 2.2 *Wat zijn de verschillen tussen de aanbevolen planningsmethode t.o.v. de huidige methode in relatie tot de beoordeling van project onzekerheid?* beantwoord.

In dit hoofdstuk worden de verschillende vormen van project onzekerheden in relatie tot planningsmanagement gedefinieerd als gebeurtenis-, spreidings- en systemische onzekerheid. Daarnaast is nog beslissingonzekerheid te onderscheiden. Echter, ligt deze onzekerheid buiten de scope van dit onderzoek, omdat deze bepaald wordt door de opdrachtgever en daarover geen gegevens beschikbaar zijn.

Een deterministische planning wordt gebaseerd op een inschatting van de meest waarschijnlijke doorlooptijd van activiteiten. In figuur 11 wordt gevisualiseerd dat alleen in de probabilistische planning onzekerheden kunnen worden gekwantificeerd. In de deterministische planning kan dit niet. Hierdoor is de deterministische planning wel eenvoudiger op te stellen.



Figuur 11 Toepassing van onzekerheid in een type planning (grijs: gekwantificeerde onzekerheden, oranje: niet)

De kwantificeerde onzekerheden zullen als input dienen voor de probabilistische planningsmethode met als doel om de projectplanning statistisch te analyseren. Aangezien de GWW projecten veel onzekerheden kennen, kan deze planningsmethode interessant zijn voor Arcadis. Ook binnen een probabilistische planning kunnen bepaalde onzekerheden niet herkend worden of onjuist worden ingeschat door het planningsteam.

De output van de deterministische en probabilistische methoden zijn beiden relevant voor het planningsmanagement. In onderstaande tabel 7 wordt aangegeven hoe de output van elke methode gebruikt kan worden in de sturing van een project.

Tabel 7 Sturingsmogelijkheden van de deterministische en probabilistische planning

Deterministische planning	Probabilistische planning
• Overzichtelijke gevisualiseerde werkplanning (wie wat moet doen en wanneer); • Onderlinge afhankelijkheden van activiteiten; • Het kritische pad; • Doorlooptijden van activiteiten gebaseerd op de T-most.	• Doordat duidelijk is wat de kans is dat een bepaalde doorlooptijd gehaald wordt, krijg je een beter beeld van de haalbaarheid van een bepaald doorlooptijd in projecten met veel onzekerheden.

HOOFDSTUK 5

PROBABILISTISCHE PLANNINGSMETHODE TOEGEPAST OP EEN ARCADIS PROJECT

In dit hoofdstuk wordt een praktijkstudie uitgevoerd door een toepassing van de probabilistische planningsmethode op een project van Arcadis. Met deze studie wordt antwoord gegeven op de sub-vragen *3.1 Hoe kan de aanbevolen planningsmethode de eenduidige interpretatie van planningsdata vergroten?* En *3.2 Welke extra sturingsinformatie levert een nieuwe planningsmethode op voor Arcadis?*

De doelen van de toepassing van de probabilistische planning op het Arcadis project zijn:

- toetsen van de hypothese op de casus, dat in de deterministische planningsmethode zoals uitgevoerd door Arcadis niet zuiver deterministisch is, omdat onzekerheden en risico's impliciet meegenomen worden.
- onderzoeken welke extra sturingsinformatie de probabilistische planningsmethode oplevert t.o.v. de deterministische planningsmethode;
- bepalen hoe de sturingsinformatie uit de probabilistische planning gebruikt kan worden in de beheersing van een project.

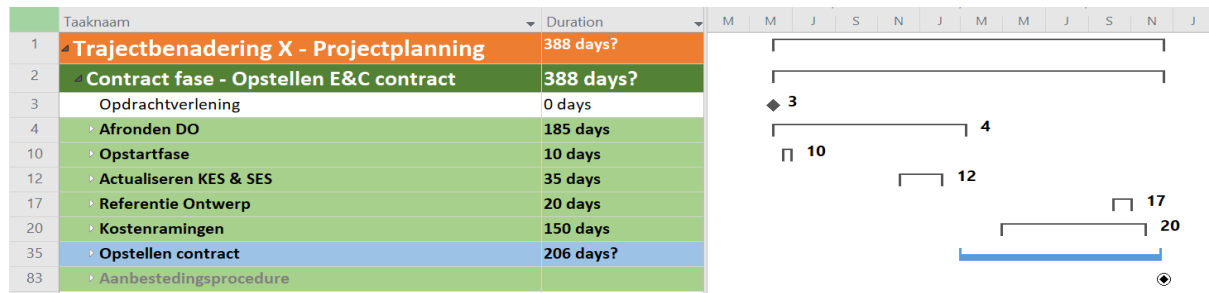
In dit hoofdstuk wordt in paragraaf 5.1 een uitgebreide uitleg gegeven over het Arcadis project. Vervolgens wordt in paragraaf 5.2 de meest waarschijnlijke doorlooptijden vergeleken die door de probabilistische en deterministisch planningsmethode bepaald worden. In paragraaf 5.3 worden de resultaten vergeleken van de deterministische en probabilistische planning. Tot slot wordt in paragraaf 5.4 de toegevoegde waarde van de probabilistische planning voor Arcadis beschreven.

5.1 Casus omschrijving, Arcadis project X

Het project X in deze casus betreft het verbreden van een wegtracé van 42 km. De opdrachtgever heeft het opstellen van een contract voor het aanbestedingsdossier ten behoeve van aannemers uitbesteed aan Arcadis.

Het project voor het opstellen van het contract bestaat uit verschillende fases die worden weergegeven in figuur 13. Het project is een reeds afgerond project waarvan de planningen van verschillende actualisaties beschikbaar waren. Bij deze casus is aangenomen dat de planning geactualiseerd is tot de fase 'opstellen contract'. De praktijkstudie zal worden toegepast op de fase 'opstellen contract'. Deze fase heeft een aantal kenmerken die het toepassen van een probabilistische planning relevant maken:

- 18 activiteiten, 4 producten en 2 risico's. Figuur 14 geeft een overzicht van de activiteiten en de volgorde van relaties. De rode activiteiten beschrijven het kritieke pad;
- substantiele doorlooptijd van ongeveer een half jaar;
- een dynamisch karakter, blijkend uit de vele aanpassingen en actualisaties die nodig waren.



Figuur 12 Projectplanning project X in fases

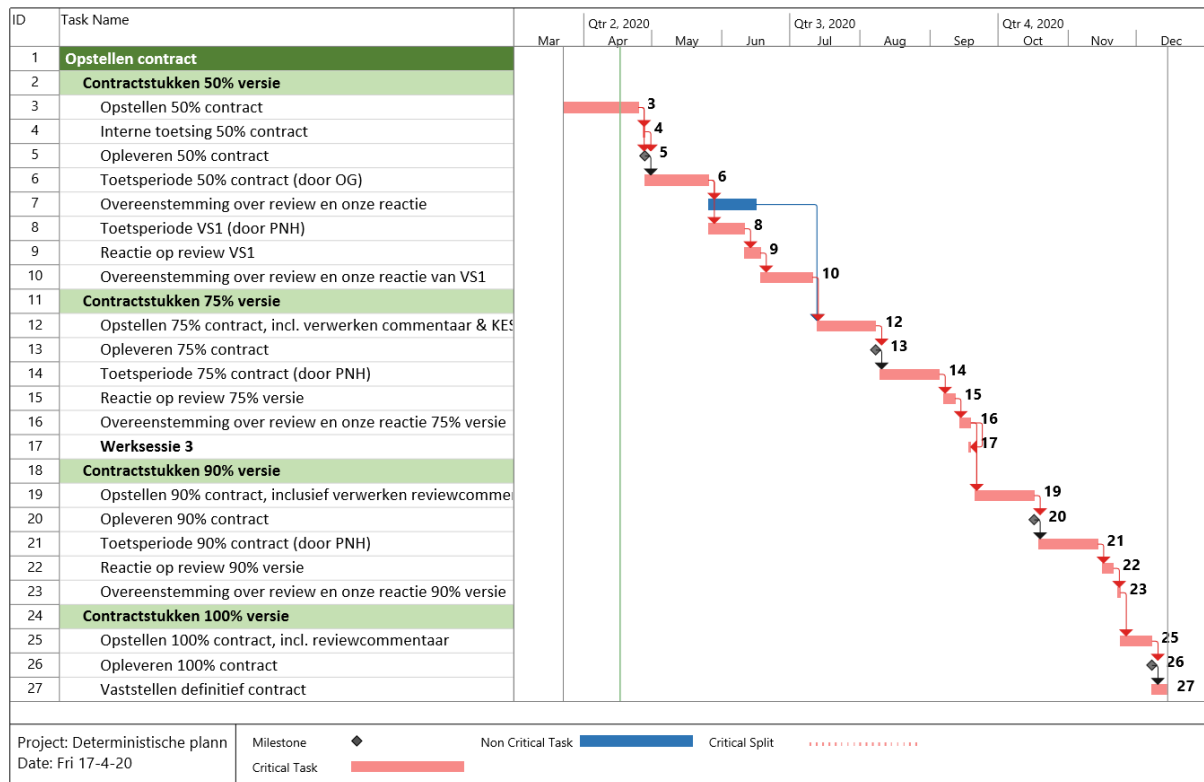


Figure 14 Activiteiten, producten en relaties van de fase "opstellen contract"

Het project X heeft zich vrij recent afgespeeld. Hierdoor was de informatie die nodig was om een probabilistische planning te maken nog eenvoudig te reconstrueren. De data die nodig zijn voor een probabilistische planning zijn verkregen in een planningssessie met de planner en specialisten van het projectteam die het project daadwerkelijk hebben uitgevoerd. Tijdens deze sessie is gevraagd aan de specialisten om de activiteiten te kwantificeren in de minimale doorlooptijd, maximale doorlooptijd en meest waarschijnlijke doorlooptijd (T_{min} , T_{max} en T_{most}). Door het kwantificeren van deze spreiding in doorlooptijd wordt de spreidings-onzekerheid van dit project in kaart gebracht. Daarnaast werd tijdens deze sessie, de gebeurtenisonzekerheden gekwantificeerd door het bepalen van de kans dat gebeurtenissen kunnen opspelen en de gevolgen voor de doorlooptijd. Deze gebeurtenisonzekerheden worden beschreven in de volgende paragraaf.

Systemische onzekerheden zijn niet in deze praktijkstudie meegenomen, omdat de benodigde correlaties tussen doorlooptijden van activiteiten niet beschikbaar waren vanwege het ontbreken van historische data.

Een limitatie van de onderzoeksopzet van deze casus is dat bij het bepalen van de spreiding in doorlooptijd en inschatting van de risico's de projectteamleden de ervaringen van het reeds afgeronde project impliciet meenemen in hun inschattingen. De vraag is of ze bij de start van de

fase 'opstellen contract' dezelfde inschattingen hadden gemaakt. Om deze limitatie in de toekomst te voorkomen zal deze methode moeten worden toegepast op nieuwe projecten van Arcadis die nog niet zijn gerealiseerd. Dit was nu echter niet mogelijk i.v.m. geheimhouding en grootte van projectplanningen. Een andere beperking van de onderzoeksopzet van deze praktijkstudie is dat conclusies zijn gebaseerd op de toepassing van de nieuwe planningsmethode gedurende een fase van een enkel project. Om de conclusies te ondersteunen zal Arcadis de nieuwe planningsmethode op meerdere projecten moeten toepassen en evalueren.

5.2 Oorspronkelijke, geconstrueerde en gerealiseerde data

In deze paragraaf worden de volgende doorlooptijden gepresenteerd van de fase 'opstellen contract':

- Oorspronkelijke planning waarin de T_{most} is ingeschat op basis van de deterministische planningsmethode (DPM);
- De spreidingsonzekerheid uitgedrukt in T_{most} , T_{min} en T_{max} zoals achteraf door het projectteam gereconstrueerd is op basis van de probabilistische planningsmethode (PPM);
- De gebeurtenisonzekerheden (risico's) die achteraf gekwantificeerd zijn en nodig zijn in de PPM;
- De T_{real} , de daadwerkelijk gerealiseerde doorlooptijden.

Deze gegevens zijn terug te vinden in tabel 8.

De twee risico's in de fase 'opstellen contract' zijn allereerst gekoppeld aan activiteiten waarvan verwacht werd dat het risico daar zou opspelen. Daarnaast zijn de risico's gekwantificeerd door ze uit te drukken in een kans (%) dat ze optreden en hun consequentie uitgedrukt in extra doorlooptijd (T_{min} , T_{most} , T_{max}). Het eerste risico is dat de contractmanager van Arcadis van het project gehaald zou worden voor een ander project. Door een aanstelling van een nieuwe contractmanager is de verwachting dat er meer reviewcommentaar zal zijn, waardoor Arcadis herstelwerkzaamheden moet uitvoeren. Het tweede risico beschrijft het niet tijdig beschikbaar stellen van een vergunning, waardoor Arcadis niet verder kan met het opstellen van het 90% contractdossier.

Tabel 8 Doorlooptijden van activiteiten (o.b.v. deterministische planningsmethode (DPM), Probabilistische planningsmethode (PPM) en de realisatie)

No	Activiteit	DPM	PPM				Realisatie	Risico			
		Tmost dagen	Tmin dagen	Tmost dagen	Tmax dagen	Treal dagen	Kans (%)	Effect			
								Tmin	Tmost	Tmax	
1	Opstellen contract	195	121	176	253	206					
2	Contractstukken 50% versie	80	48	71	105	91					
3	Opstellen 50% contract	25	20	25	30	25					
4	Interne toetsing 50% contract (Collega)	1	1	1	2	1					
5	Opleveren 50% contract										
6	Toetsperiode 50% contract (door OG)	20	10	15	30	25					
7	Overeenstemming over review en reactie*	15	5	10	15	15					
8	Toetsperiode VS1 (door PNH)	12	5	10	15	15					
9	Reactie op review VS1	5	2	5	8	5					
10	Overeenstemming review + reactie van VS1	17	10	15	20	20					
11	Contractstukken 75% versie	50	31	45	65	50					
12	Opstellen 75% contract + commentaar + KES	20	10	15	20	25					
	Risico 1: vervangen contractmanager						65%	8	10	12	
13	Opleveren 75% contract										
14	Toetsperiode 75% contract (door OG)	20	15	20	25	15					
15	Reactie op review 75% versie	5	3	5	10	5					
16	Overeenstemming review en reactie 75%	5	3	5	10	5					
17	WS3: invulling keuzes/vraagstukken contract*	1	1	2	5	1					
18	Contractstukken 90% versie	50	30	45	63	50					
19	Opstellen 90% contract, incl. commentaar	20	10	15	20	25					
	Risico 2: vertraging vergunning						45%	10	15	20	
20	Opleveren 90% contract										
21	Toetsperiode 90% contract (door OG)	20	15	20	25	15					
22	Reactie op review 90% versie	5	2	5	8	5					
23	Overeenstemming over review + reactie 90%	5	3	5	10	5					
24	Contractstukken 100% versie	15	12	15	20	15					
25	Opstellen 100% contract, incl. commentaar	10	10	12	15	10					
26	Opleveren 100% contract										
27	Vaststellen definitief contract	5	2	3	5	5					

* Parallele activiteit niet op kritieke pad

	Product
	Summery task
	Project Summery

Door in de planningssessie het gesprek te voeren over Tmin, Tmax en Tmost konden aannames en inschattingen gechallenged worden. Het kwantificeren van deze spreidingen in doorlooptijd en de risico's kostte tijdens de planningssessie weinig tijd. De aanwezigen tijdens deze sessie bevestigden deze observatie. Deze methodiek voor het verkrijgen van extra data kan hierdoor eenvoudig worden opgenomen in de huidige planningssessies van projectteams. De aanwezigen moesten wel geïnstrueerd worden wat er van hen verwacht werd.

5.3 Impliciete aannames en onzekerheden in de deterministische planningsmethode

Hoofdstuk 2 stelt dat de actoren die data voor de planning aanleveren in de deterministische planning impliciet onzekerheden meenemen in het bepalen van de doorlooptijden van activiteiten. Hoe ze dit doen, kan ook nog van actor tot actor binnen één project verschillen. In deze paragraaf wordt deze hypothese getoetst door de volgende data te vergelijken:

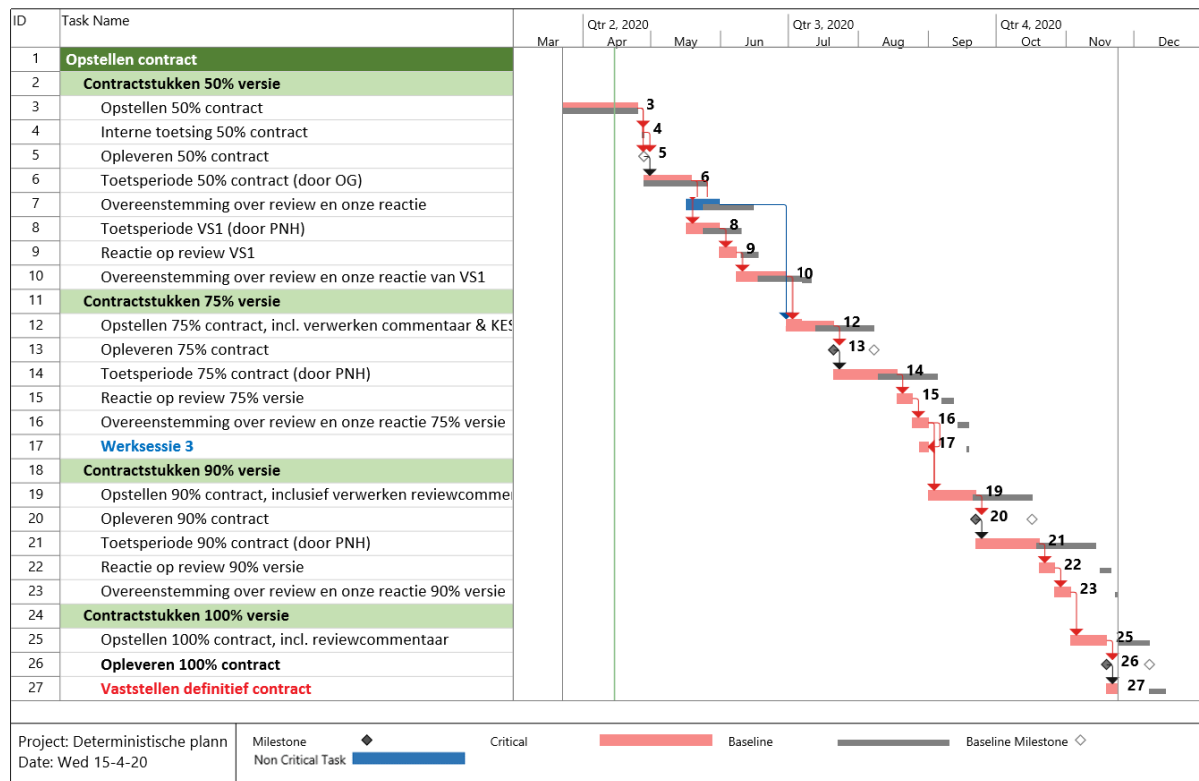
- de Tmost uit de oorspronkelijke deterministische planning;
- de gereconstrueerde Tmost zoals bepaald wordt in de probabilistische methode;
- de daadwerkelijk gerealiseerde planning (Treal).

Figuur 15 laat de planning zien van de Tmost uit de oorspronkelijke planning en de Tmost zoals die in de probabilistische methode bepaald wordt, gevisualiseerd in MS project. De totale doorlooptijd op basis van de oorspronkelijke planning is 195 werkdagen (in grijs). De gereconstrueerde doorlooptijd is 176 werkdagen waarbij de rode activiteiten het kritieke pad aangeven. Het verschil tussen de totale doorlooptijd van deze twee planning is 19 werkdagen.

De totale doorlooptijd uit de DPM (195) ligt dicht bij de gerealiseerde doorlooptijd (206) dan de Tmost uit de PPM (176). We kunnen hieruit echter niet concluderen dat de Tmost bepaald in de DPM beter is dan de Tmost uit de PPM, omdat in de Tmost uit de PPM de gebeurtenis-onzekerheden apart worden meegenomen.

Door de twee planningen te vergelijken kan worden geconcludeerd dat de Tmost op basis van de deterministische planningsdata bij 7 van de 18 activiteiten hoger wordt geschat dan de Tmost op basis van de probabilistische data. In de planningssessie waarin de gereconstrueerde data werd opgesteld, bleek dat bepaalde leden van het planningsteam aannames en onzekerheden hadden meegenomen bij het opstellen van de oorspronkelijke planning. Een voorbeeld is dat de ene specialist rekening gehouden had met de vakantieperiode en de anderen niet. Hiermee is de hypothese dat in de oorspronkelijke deterministische planning in dit project aannames en onzekerheden impliciet zijn meegenomen in de planning.

Doordat het in de oorspronkelijke deterministische planning onduidelijk blijft waar en door wie aannames gemaakt zijn over de Tmost, is het voor een planner lastig om hierop te sturen. Wanneer in een deterministische planning de Tmost gebaseerd wordt op de PPM, wordt dit probleem verholpen. Aannames zijn dan immers expliciet geworden en met onzekerheden kan apart rekening gehouden worden. Wanneer alle leden van een projectteam op deze wijze de Tmost bepalen, wordt de data-input van een planning ook eenduidiger.



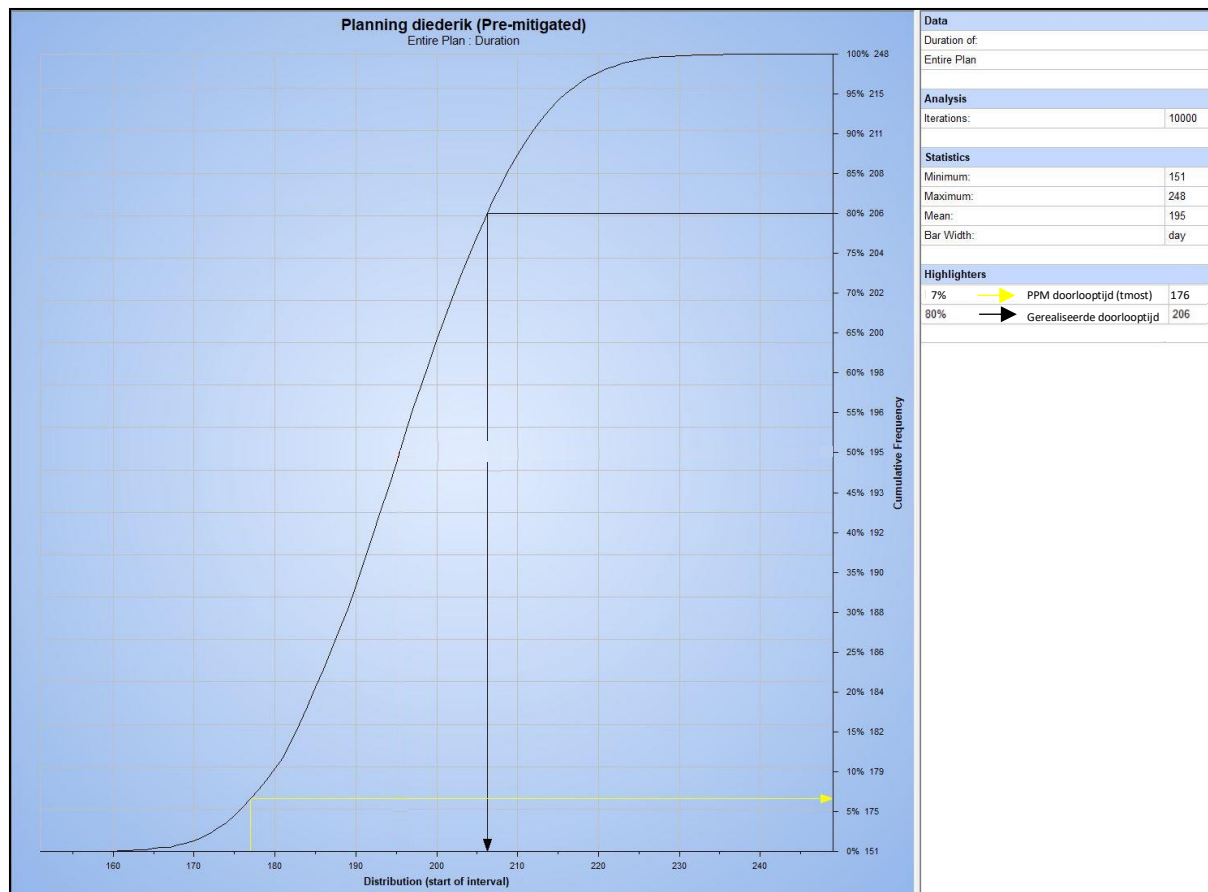
Figuur 15 Deterministische planning (grijs is o.b.v. de huidige planningsmethode & rood/blauw is o.b.v. probabilistische planningsmethode)

5.4 Toegevoegde waarde van een probabilistische planning

In deze paragraaf wordt duidelijk welke extra sturingsinformatie de probabilistische planning oplevert en wat de waarde hiervan is voor het planningsmanagement.

5.4.1 Extra sturingsinformatie uit een probabilistische planningsmethode

Op basis van de gegevens (tabel 8) die verzameld zijn door middel van de probabilistische planningsmethode is met het programma PERT-master een probabilistische planning opgesteld. Vervolgens is een MC-simulatie uitgevoerd van 10.000 iteraties. De statistische benadering voor de spreiding in doorlooptijd is een driehoeksverdeling. Voor de kans van het opspelen van onverwachte gebeurtenissen (gebeurtenisonzekerheid) is de Bernoulli-verdeling gebruikt. Figuur 16 toont de probabilistische analyse van deze simulatie. Op de X-as zijn de doorlooptijden van de fase 'opstellen contract' weergegeven. De rechter Y-as toont de kans dat een bepaalde doorlooptijd gehaald wordt. Deze zogenaamde kans drukt de kans uit dat de daadwerkelijke doorlooptijd kleiner of gelijk is aan een bepaalde waarde.



Figuur 16 Resultaten simulatie probabilistische planning exclusief beheersmaatregelen

In onderstaande tabel 9 worden verschillende doorlooptijden en hun kans dat deze doorlooptijd gehaald wordt gepresenteerd. Deze kansen zijn te herleiden uit de probabilistische analyse uit figuur 16 (aangegeven met een bepaalde kleur pijl).

Tabel 9 De kans op de gerealiseerde en gereconstrueerde doorlooptijden

Doorlooptijd van fase 'opstellen contract'	Tijd (dagen)	Kleur pijl (figuur 18)	kans (%)
Gereconstrueerde doorlooptijd (Tmost) gebaseerd op probabilistische planningsmethode	176	Geel	7
Doorlooptijd zoals gerealiseerd (Treal)	206	zwart	80

De resultaten tonen aan dat de gereconstrueerde Tmost van 176 dagen gehaald wordt een kans heeft van 7%. Dit is een lage kans die in de praktijk niet acceptabel lijkt. Een mogelijke verklaring voor deze lage kans is dat gebeurtenisonzekerheden die op het kritieke pad liggen relatief grote gevolgen kunnen hebben op de totale doorlooptijd van deze fase. Het kan ook zijn dat de Tmost te laag is ingeschat door het projectteam vanwege te weinig ervaring met deze planningsmethode. Wanneer de kans op een doorlooptijd zo laag is, zal een planner buffers in de doorlooptijd inbouwen of beheersmaatregelen nemen om deze kans te verhogen.

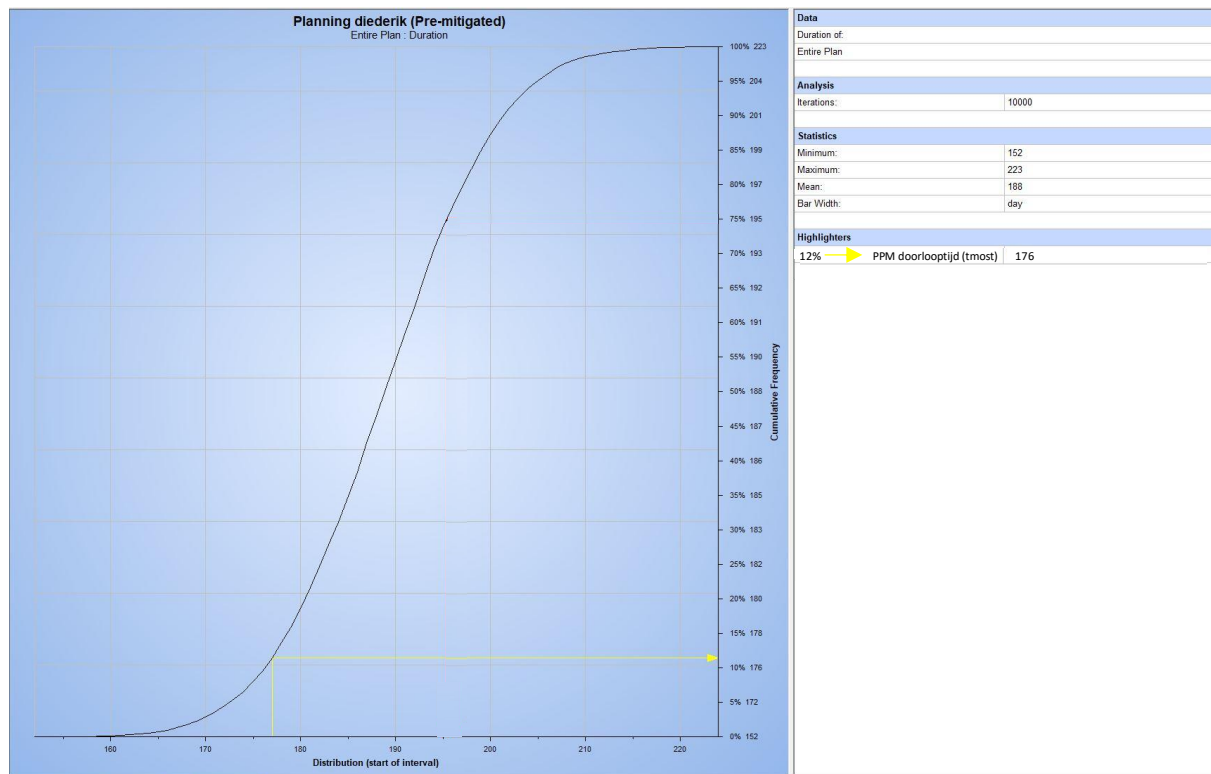
De werkelijk gerealiseerde planning met een totale doorlooptijd van 206 dagen heeft een kans van 80% dat deze doorlooptijd gehaald zou kunnen worden. Deze kans is wellicht een eerste indicatie voor dit type projecten om op te sturen in de toekomst wanneer de probabilistische planning gebruikt gaat worden.

Door de probabilistische analyse kan de kans van verschillende doorlooptijden van het project bepaald worden. Dit is waardevolle sturingsinformatie voor het planningsmanagement, die op verscheidene manieren kan worden gebruikt:

- *Interne projectsturing*: in de casus is de kans dat een bepaalde doorlooptijd van het hele project gerealiseerd kan worden bepaald. Tijdens de uitvoering van een project kan dit ook voor het realiseren van een mijlpaal of zelfs product worden gedaan. Met deze gegevens kan het interne projectteam afwegen of de kans op een bepaalde doorlooptijd acceptabel is en/of er nog extra beheersmaatregelen genomen worden om de doorlooptijd te verkorten en/of de kans op een bepaalde doorlooptijd te verhogen. Voor andere beheers aspecten van projectmanagement kan de informatie ook relevant zijn. Een werkveld met schaarse expertise kan nauwkeuriger inschatten wanneer hun werkzaamheden gedaan kunnen worden om zodoende beter de capaciteit van het werkveld te managen.
- *Afstemming met en besluitvorming door de opdrachtgever*: de kans waarop doorlooptijden gehaald kunnen worden is ook relevant voor de opdrachtgever. Ook hij kan met deze informatie inschatten of hij een bepaalde doorlooptijd en bijbehorende kans voldoende vindt. En op basis daarvan kan hij besluiten eventueel extra middelen in te zetten of niet. Of omgekeerd als de kans dat een bepaalde doorlooptijd gehaald wordt te laag is, kan besloten worden om een extra tijdsbuffer in te bouwen (doorlooptijd te verlengen) om zodoende de slagingskansen te verhogen.
- *De kans dat doorlooptijd gehaald kan worden als norm*: Wanneer de probabilistische planning op meerdere projecten is uitgetest en de daadwerkelijke doorlooptijd van projecten bekend is, kan bepaald worden welke doorlooptijd met desbetreffende kans gerealiseerd is. De gemiddelde kans dat doorlooptijden van projecten gerealiseerd worden kan gebruikt worden als norm voor een bepaald type projecten. Deze norm kan gebruikt worden als referentie om de doorlooptijd van projecten te beoordelen.

5.4.2 Effect van beheersmaatregelen op doorlooptijd en slagingskansen

Een tweede simulatie is uitgevoerd om het effect van een beheersmaatregel op de kans van een bepaalde doorlooptijd door te rekenen. Risico 1 was dat de contractmanager van het projectteam van Arcadis van het project gehaald zouden worden voor een ander project. De beheersmaatregel die in deze casus is aangenomen is dat beide contractmanagers op het project zouden blijven door daar topprioriteit aan te geven. Door het toepassen van de beheersmaatregel op risico 1 wordt de kans van optreden verlaagd van 65% naar 0%. In onderstaande figuur 17 is het effect van het wegvallen van dit risico door de genomen beheersmaatregel weergegeven.



Figuur 17 Resultaten simulatie probabilistische planning incl. beheersmaatregel (risico 1)

In de tabel 10 worden de gegevens van figuur 16 (probabilistische planning exclusief beheersmaatregel) uit de vorige paragraaf vergeleken met figuur 17 (probabilistische planning inclusief beheersmaatregel).

Tabel 10 Het verschil in de kans dat een bepaald doorlooptijd gerealiseerd wordt (incl./excl. Beheersmaatregel)

Doorlooptijd bij start fase 'opstellen contract'	Tijd (dagen)	Kleur pijl	Beheersmaatregel (zonder/met)	kans (%)
Geconstrueerde doorlooptijd (Tmost) gebaseerd op PPM	176	geel	zonder (fig. 15)	7
			met (fig. 16)	12

Het effect van de genomen beheersmaatregel wordt zichtbaar, maar is gering. De kans dat de doorlooptijd van 176 dagen gerealiseerd kan worden stijgt immers maar van 7% naar 12%. Het is de vraag of de beheersmaatregel om de contractmanager op het project te houden en de kans te laten stijgen naar 12%, opweegt tegen de nadelen dat de contractmanager niet ingezet wordt op het andere project.

Het doorrekenen van het effect van een beheersmaatregel op de kans dat een bepaalde doorlooptijd gerealiseerd kan worden, kan gebruikt worden om de afweging te maken tussen het effect en de eventuele kosten om een beheersmaatregel.

5.5 Conclusie hoofdstuk 5

In dit hoofdstuk kunnen de volgende twee onderzoeksvragen beantwoord worden:

- 3.1 Hoe kan de aanbevolen planningsmethode de eenduidige interpretatie van plannings-data vergroten?
- 3.2 Welke extra sturingsinformatie levert een nieuwe planningsmethode op voor Arcadis?

Door toepassing van de probabilistische planning op een concreet project van Arcadis kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- a. Bij de DPM worden impliciet onzekerheden meegenomen in het bepalen van de Tmost. Tijdens het bepalen van de Tmost met een spreiding (de PPM) worden aannames en onzekerheden expliciet. Uit de analyse bleek dat de Tmost uit de DPM in 7 van de 18 gevallen hoger was dan de Tmost bepaald met de PPM.
- b. Wanneer een projectteam de PPM hanteert, zal eenieder die planningsdata aanlevert dit op een meer eenduidige wijze doen, omdat aannames en onzekerheden geëxpliciteerd worden. Bovendien kan een planner de meest waarschijnlijke doorlooptijd beter sturen door apart rekening te houden met de gekwantificeerde onzekerheden.
- c. Het aangeven van de onzekerheden en risico's voor een probabilistische planning kostte tijdens de planningssessie niet veel meer tijd dan in de DPM in de beleving van de planner en andere aanwezigen. Het vraagt wel meer ervaring om de Tmost, onzekerheden en risico's goed te leren inschatten.
- d. De PPM levert extra sturingsinformatie naast de DPM namelijk:
 - de betrouwbaarheid van een planning wordt in projecten met veel onzekerheden verhoogd, omdat de kans dat een doorlooptijd behaald wordt, kan worden berekend;
 - op basis van deze kans, kan worden bepaald of deze kans acceptabel is voor zowel de externe opdrachtgever als de interne projectmanager. In de praktijkstudie bleek dat de Tmost (176 dagen) een kans van 7% had van slagen had. Deze lage kans lijkt niet acceptabel te zijn voor een opdrachtgever of het interne projectteam.
 - het effect van beheersmaatregelen op de doorlooptijd en de bijbehorende kans kan worden bepaald met een probabilistische planningsmethode. In de praktijkstudie had het wegnemen van risico 1 maar een gering effect op de kans dat de Tmost (176 dagen) gehaald kan worden. Deze kans steeg van 7% naar 12%. Nu kan worden afgewogen of de investering in de beheersmaatregel de verlaging van de doorlooptijd of de verhoging van de kans waard is;
- e. De deterministische planning geeft een goed overzicht van de onderlinge afhankelijkheid van activiteiten, hun doorlooptijd en wanneer ze in de tijd kunnen worden uitgevoerd. Dit is belangrijke informatie voor de sturing van de doorlooptijd. De extra sturingsinformatie van de probabilistische planning zijn een goede aanvulling hierop en biedt informatie voor besluitvorming in projecten met veel onzekerheden.

Hiermee is antwoord gegeven op de onderzoeksvraag 3. *Wat zijn de mogelijkheden om de planningsmethode van Arcadis projecten te verbeteren.*

HOOFDSTUK 6

VERBETERVOORSTELLEN

In dit hoofdstuk wordt vraag 4. *Wat zijn de verbetervoorstellen voor het verhogen van de kwaliteit van het planningsmanagement?* beantwoord. Door middel van het beantwoorden van de subvragen 4.1 *Hoe kan de aanbevolen planningsmethode binnen Arcadis worden geïmplementeerd?* en 4.2 *Welke overige verbetervoorstellen verbeteren de kwaliteit van het planningsmanagement?*

Voor het beantwoorden van de sub-vraag 4.1 wordt in paragraaf 6.1 adviezen beschreven voor het implementeren van de probabilistische planningsmethode. Voor het beantwoorden van sub-vraag 4.2 en het oplossen van de problemen uit hoofdstuk 3 welke geen directe betrekking hebben op de planningsmethode worden adviezen gegeven. Zo worden in paragraaf 6.2 KPI's aanbevolen voor het verbeteren van de sturing en performance meting van planningsmanagement. In paragraaf 6.3 wordt advies gegeven welke en hoe data in de toekomst moet worden opgeslagen om de performance van verschillende projecten te kunnen vergelijken. En om uiteindelijk de data te kunnen analyseren en hiervan te leren. Verder wordt in paragraaf 6.4 advies gegeven om de projectbeheersing integraal te kunnen benaderen door verschillende beheers-aspecten te combineren. Tot slot wordt in paragraaf 6.5 een tool voorgesteld om de werklast van de planner te verminderen.

6.1 Implementatie van de probabilistische planningsmethode binnen Arcadis

Deze paragraaf gaat in op de vraag hoe de probabilistische planning geïmplementeerd kan worden binnen Arcadis. Voor de implementatie zijn de volgende uitgangspunten van belang:

- *Opleiden van projectteams:* de probabilistische planning vraagt een nieuwe manier van denken van degenen die input leveren voor de planning van projecten. Het inschatten van de spreiding van de doorlooptijd, en het expliciteren van onzekerheden en risico's zijn hier voorbeelden van. Specialisten, werkveldleiders, IPM-rolhouders en planners zullen dit moeten leren. In de implementatie dienen dus trainingen ontwikkeld en gegeven te worden voor:
 - Planners: opstellen en interpreteren van probabilistische planningen en rapporteren van uitkomsten;
 - IPM-rolhouders en werkveldleiders: aanleveren van betrouwbare data en interpreteren van probabilistische planningen;
 - Specialisten: aanleveren van data en aannames en onzekerheden leren expliciteren bij het bepalen van de spreiding van de doorlooptijd en het bepalen van de meest waarschijnlijke doorlooptijd (Tmost).
- *Werkprocessen voor planningsmanagement aanpassen:* De inschatting is nu dat het invoeren van een probabilistische methode geen grote impact heeft op de werkprocessen van planningsmanagement. Wel zal er extra informatie moeten worden verzameld en verwerkt in de planning. Hiervoor kunnen dezelfde processtappen in het planningsproces gebruikt worden als nu het geval is. Het is echter wel aan te bevelen om vanaf de start van een project de probabilistische methode uit te testen in een aantal pilotprojecten. Op basis hiervan kan geëvalueerd worden of de werkprocessen voor planningsmanagement aangepast moet worden.
- *Software aanschaffen en installeren:* Arcadis zal dienen te investeren in nieuwe planningssoftware omdat de huidige software, MS-project, geen mogelijkheid heeft om een probabilistische planning op te stellen. Onderzoek moet aantonen welke planningssoftware het meest geschikt zal zijn voor Arcadis. Voor dit onderzoek is de software PERT-master gebruikt en die beviel goed.
- *Evalueren van pilotprojecten:* in de pilotprojecten wordt ervaring opgedaan met het werken met de probabilistische planning. Deze ervaringen kunnen lessen opleveren voor zowel het werkproces van het planningsmanagement, de effectiviteit van de trainingen en het werken

met de planningssoftware. Ook zal duidelijk worden voor welk type projecten de probabilistische planning echt toegevoegde waarde oplevert. Deze lessen kunnen uitgewerkt worden voordat deze methode verder in de organisatie wordt uitgerold.

6.2 KPI's voor verbeteren sturing en performance meting van planningsmanagement

In paragraaf 3.2.1 is geconstateerd dat de mogelijkheden om de doorlooptijden van een project te sturen en te evalueren, beperkt zijn. In deze paragraaf worden een aantal extra KPI's voorgesteld om de sturing en evaluatie van het planningsmanagement te verbeteren.

De KPI's die aanbevolen worden in deze paragraaf, zijn voorgelegd aan verschillende experts binnen Arcadis en samen met hen vastgesteld. Er moet nog wel onderzocht worden waarop en in welke mate van detail Arcadis het planningsmanagement wil sturen en evalueren en wat de waarde van deze KPI's is in de praktijk. Dit valt echter buiten de scope van dit onderzoek.

In de huidige situatie worden de KPI's a), b), c) en d) in tabel 11 gebruikt om te sturen op doorlooptijd. Daarbij ligt de focus op het beheersen van de totale doorlooptijd van een project, omdat de eindoplevering contractueel is vastgelegd met de klant.

Tabel 11 Sturings/rapportage KPI's in de huidige en gewenste situatie (Doorlooptijd & planning)

Niveau	KPI's huidig	KPI's ter verbetering:
Project	a) Doorlooptijd tot oplevering eindresultaten project (volgens contract)	A. % gerealiseerde mijlpalen op tijd afgerond B. Doorlooptijd gepland bij start project versus gerealiseerd C. # wijzigingen einddatum project D. % producten op tijd afgerond E. Kans % dat doorlooptijd (baseline of geactualiseerde) gehaald wordt
Mijlpaal	b) Doorlooptijd tot mijlpaal gepland versus actueel c) Verwachte doorlooptijd tot oplevering mijlpaal	F. # openstaande producten per mijlpaal (gewoon, ter indiening of ter interne review) G. Kans % dat een bepaalde doorlooptijd gehaald wordt
Product	d) Verwachte doorlooptijd tot productoplevering e) # openstaande activiteiten per product f) # opgeleverde producten	
Werkveld		H. % gerealiseerde activiteiten op tijd afgerond door werkveld

Ook het aantal opgeleverde en op te leveren producten wordt als KPI meegenomen in de huidige beheersing van de doorlooptijd (e., f.). Dit helpt het projectteam om zicht te houden op wat nog moet worden gedaan.

Op projectniveau worden een serie KPI's aanbevolen (A., B., C. en D.) die helpen de performance van planningsmanagement over verschillende projecten heen te vergelijken. Wanneer verschillen tussen projecten diepgaander geanalyseerd worden (waarom doet het ene project beter dan het andere) kunnen lessen getrokken worden om het planningsmanagement binnen Arcadis te verbeteren. Daarnaast kan deze informatie gebruikt worden als benchmark in tenders.

Door het gebruik van de probabilistische planning kan de kans dat doorlooptijd gerealiseerd wordt, bepaald worden. Deze kans of een bepaalde doorlooptijd gerealiseerd kan worden is een belangrijke KPI die zowel op project- (E) als mijlpaalniveau (G) relevant is, omdat projecten in de GWW-sector veel onzekerheden bevatten. Hierdoor wordt betrouwbaardere sturingsinformatie geleverd in onzekere projecten.

Op mijlpaalniveau gaat het in de praktijk helpen om de sturing van de doorlooptijd te verbeteren door het aantal openstaande producten per mijlpaal (KPI F) in beeld te hebben. Daarbij moet onderscheid gemaakt worden tussen de fasen waarin een product zit (gewoon, ter indiening of ter interne review), omdat dit ook een indicatie is van de nog te verwachte doorlooptijd.

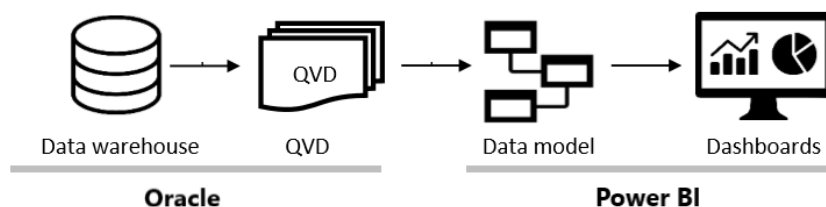
Op werkveld niveau wordt niet gekeken hoe een werkveld presteert bij de beheersing van de doorlooptijd. Aangezien in de planning niet genoteerd wordt wie verantwoordelijk is voor het product en omdat verschillende werkvelden aan één product kunnen werken, kan dat niet op productniveau gemeten worden. Vandaar dat KPI H. wordt voorgesteld om te kijken of de activiteiten die een werkveld doet al dan niet binnen de geplande tijd worden afgerond.

Het vraagt nog verder onderzoek om de KPI's te testen in meerdere projecten om te kijken of ze relevante sturingsinformatie opleveren of inzicht geven in de performance van projecten.

6.3 Datamanagement voor planningsmanagement

In paragraaf 3.2.3 is beschreven dat kwalitatieve data over de planning en realisatie niet eenduidig zijn opgeslagen voor verschillende projecten. Hierdoor is het niet mogelijk een kwantitatieve analyse uit te voeren op basis van data. Ook is duidelijk geworden dat er momenteel slechts gerapporteerd wordt richting de klant op voortgang en geld. Intern bij Arcadis worden de performance van projecten niet systematisch gemeten en vastgelegd. De performance van afgeronde projecten kan dan ook niet achteraf worden geanalyseerd en vergeleken met ander projecten. Hierdoor leert de organisatie onvoldoende over het planningsmanagement en ook het projectmanagement van de projecten om daaruit vervolgens weer lessen te trekken voor nieuwe projecten. Om in de toekomst het planningsmanagement structureel te kunnen verbeteren, is het van belang te bepalen welke data opgeslagen dienen te worden, hoe ze kunnen worden opgeslagen verwerkt en gevisualiseerd (Chaudhuri, et al, 2011).

Arcadis stapt momenteel over naar een geavanceerd ERP-systeem genaamd Oracle. Dit ERP-systeem zal mogelijk kunnen helpen bij het vullen en opslaan van data van verschillende projecten in een datawarehouse. Het laden van gegevens vanuit een datawarehouse in dashboardsoftware, zoals Power-Bi vereist het voorbereiden van gegevens, het structureren van gegevens in een model en een real time connectie zodat gegevens herladen kunnen worden. De datastroom van Oracle naar de front-end dashboards (Power-BI) wordt gevisualiseerd in figuur 18.



Figuur 18 Gegevensstroom van Oracle tot Power BI

Uiteindelijk zal Power-BI de data correct moeten visualiseren om interpretatiefouten te voorkomen. Dus naast het ontwikkelen van een datastroom in Oracle zal Arcadis onderzoek moeten doen naar hoe data het beste gevisualiseerd kunnen worden om analyses uit te kunnen voeren. Wanneer dit alles is onderzocht, zal Arcadis in staat zijn om snel onderbouwde managementbeslissingen te nemen. De data die aanbevolen worden om vast te leggen worden genoemd in tabel 12.

Tabel 12 Beschrijving van de geadviseerde vast te leggen data

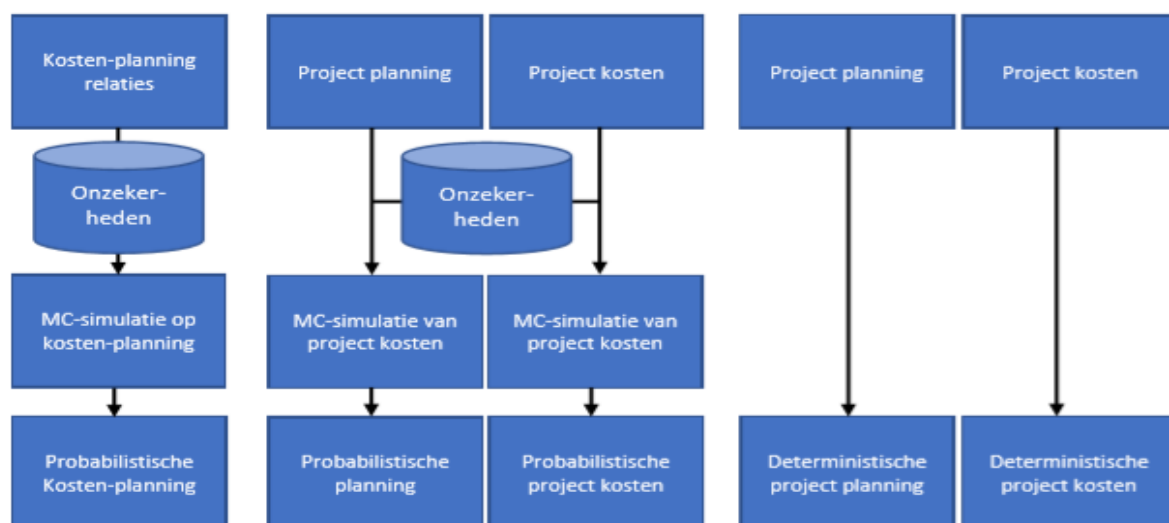
Vast te leggen data	Verklaring
Versies geactualiseerde planningen van een project	Met deze data kan de planning na afronding geanalyseerd worden op wijzigingen in de planning en waarom deze gemaakt zijn. Daarnaast kunnen afwijkingen van de baseline planning in beeld gebracht worden om daaruit lessen te trekken voor volgende projecten.
Onzekerheden, risico's, oorzaken en gevolgen doorlooptijd	Door een bepaald type projecten te analyseren op deze data kunnen patronen gedestilleerd worden die input geven voor het opstellen van planningen voor nieuwe projecten.
KPI's voor planningsmanagement	Hiermee kan de performance van afgeronde projecten worden vergeleken. Hiermee kunnen normen bepaald worden voor bepaalde KPI's die een referentie bieden om de performance van de planning te beoordelen.

6.4 Integrale projectplanning

In paragraaf 3.2.1 werd gesteld dat op het gebied van sturing geconcludeerd kan worden dat de integraliteit van de projectbeheersing verbeterd kan worden door beschikbare data op de verschillende beheers-aspecten (doorlooptijd, capaciteit (uren), geld, kwaliteit en risico's) met elkaar in verband te brengen en integrale KPI's te ontwikkelen.

Momenteel wordt zowel de planning als de projectkosten bij Arcadis nog niet probabilistisch benaderd. In onderstaande figuur 19 wordt in een gescheiden methode zowel de planning als de kosten probabilistisch benaderd, waarbij projectonzekerheden in beiden meegenomen worden. Hierbij worden planning en kosten nog niet met elkaar in verband gebracht. Voor Arcadis is aan te bevelen om naast de planning ook de kosten probabilistisch te benaderen.

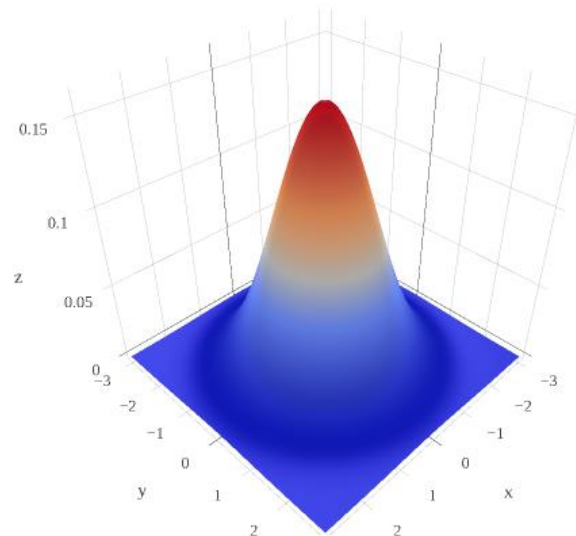
Momenteel is NASA bezig met het ontwikkelen van een integrale probabilistische methode waarin op basis van een MC-simulatie de projectonzekerheden in kosten, planning- en risicomangement in één model worden geïntegreerd (NASA, 2013).



Figuur 1139 Procesomschrijving (1. Integrale probabilistische methode, 2. Gescheiden probabilistische methode, 3. Deterministische methode)

De integrale probabilistische methode (meest linker methode in figuur 19) levert een gecombineerde kansverdeling voor doorlooptijd en projectkosten. In figuur 20 is een gecombineerd betrouwbaarheidsinterval weergegeven waarin op de x-as de doorlooptijden zijn

uitgezet en op de y-as de totale projectkosten. De z-as geeft de kans weer waarop een combinatie van de kosten en doorlooptijd van het project gehaald wordt. De relatie tussen de kosten en de doorlooptijd kan bepaald worden door dat het vergelijken van het betrouwbaarheidsinterval van de combineerde en separete probabilistische methode (NASA, 2013).



Figuur 20 De uitkomst van een integrale probabilistische methode (gecombineerde distributie van kosten en geld)

Voor grote complexe en dynamische projecten met onzekerheden in tijd en kosten, is het aan te bevelen om deze methode te onderzoeken en te kijken of dit voldoende toegevoegde waarde oplevert voor Arcadis.

6.5 Werklast en digitaliseren processtappen

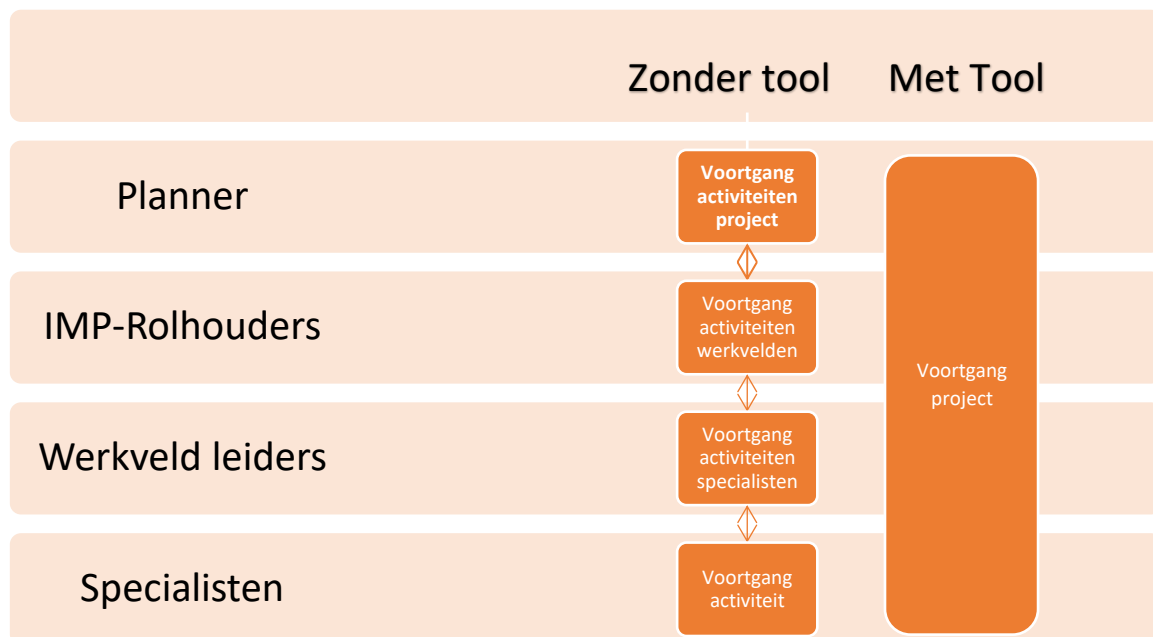
Zoals beschreven in paragraaf 3.3 is met name de planner, maar ook de IPM-rolhouders en werkveldleiders veel tijd kwijt met het actualiseren van planningen en het aanleveren van de informatie en overleg die daarvoor nodig zijn. In de praktijk is de planner daar dan ook het grootste deel van zijn tijd mee bezig. Er is een te hoge werklast om meer toekomst gerichte scenario's bezig te zijn.

Een mogelijke oplossing om de werklast van de planner en IPM-rolhouders te verminderen, is het efficiënter en eenvoudiger inrichten van het communicatieproces. Het bedrijf 'Getting projects done, Today' lijkt hiervoor een planningstool te hebben ontwikkeld (Gpd, today, z.d.). Deze tool creëert de mogelijkheid dat leden van het projectteam zelf de voortgang van hun eigen activiteiten kunnen beheren. Wanneer iemand een wijziging in de planning aanbrengt, zien betrokken real-time de wijziging en de impact op de planning. Ook kan worden aangegeven wat de voortgang is van activiteiten. Hierdoor zijn minder contactmomenten nodig binnen het planningsteam en wordt de planning sneller geactualiseerd. In contactmomenten wordt echter niet alleen informatie over de planning overgedragen. Ook sparren betrokken met elkaar, bevragen elkaar kritisch over wijzigingen, vorderingen, risico's en onderlinge afhankelijkheden. Dit verhoogt de kwaliteit van de planning. Belangrijk is bij het gebruik van deze software, dat er voldoende tijd is voor dit type gesprekken.

De tool 'Gpd, today' maakt het actualiseren van de planning eenvoudiger en efficiënter. Figuur 21 laat een deel van de processtappen van het actualiseren van planningen zien in de huidige en nieuwe situatie waar de processtappen die vervangen worden voor de tool.

Aanbevolen wordt om de impact van het gebruik van deze tool te onderzoeken. Levert de tool echt tijdswinst op en daarmee een vermindering van de werklast van de planner? En wat is de impact

op de kwaliteit van de planning wanneer het aantal overlegmomenten minder wordt? zijn relevante vragen voor dit onderzoek. Naast deze tool zijn er ongetwijfeld nog andere tools die oplossingen bieden voor dit probleem. Het onderzoek naar deze of andere tools en de impact daarvan op het planningsproces is geen onderdeel van de scope van deze studie.



Figuur 21 Procesflow van het actualiseren van de planning met en zonder invoering van de tool 'Getting projects done, today'

6.6 Conclusie hoofdstuk 6

In dit hoofdstuk is vraag 4. *Wat zijn de verbetervoorstellen voor het verhogen van de kwaliteit van het planningsmanagement?* beantwoord. In dit hoofdstuk worden de volgende adviezen gegeven om het planningsmanagement binnen Arcadis te verbeteren:

- Om de probabilistische planningsmethode te implementeren binnen de afdeling project-beheersing kunnen de volgende activiteiten worden uitgevoerd:
 - Alle teamleden van projectteams op leiden die met planningsmanagement te maken hebben;
 - Werkprocessen voor planningsmanagement aan te passen op basis van het uittesten in een aantal pilotprojecten. De inschatting is dat deze aanpassingen beperkt zijn;
 - Software aan te schaffen en te installeren.
- Om projecten te kunnen analyseren en daarmee structurele verbeteringen door te voeren in het planningsmanagement dient het datamanagement van planningsmanagement verbeterd te worden. Hiervoor dienen de volgende type data van het planningsmanagement van projecten worden opgeslagen:
 - Versies van geactualiseerde planningen;
 - Onzekerheden, risico's en hun oorzaak en gevolg voor de planning;
 - KPI's voor planningsmanagement.
- Wanneer Arcadis de probabilistische methode geïmplementeerd heeft, kan in de toekomst verder onderzoek gedaan worden naar de integrale probabilistische planningsmethode (NASA). Verder onderzoek zal moeten aantonen of deze methode voldoende toegevoegde waarde biedt voor Arcadis en hoe dit kan worden geïmplementeerd.
- Onderzoek naar tools die processen van de planner digitaliseert om de werklust te reduceren. Een mogelijke tool is waarbij projectteamleden wijzigingen in de planning van hun eigen activiteiten zelf kunnen invoeren, waardoor de wijzigingen real-time zichtbaar worden voor de planner. De rol van de planner wordt dan slechts het monitoren en bewerken van deze

wijzigingen in plaats van continu de wijzigingen moeten ophalen. Een relevante vraag daarbij is of de werklust van planners en IPM-rolhouders afneemt? Een andere onderzoeksvraag is of de kwaliteit van de plannings hoog blijft, omdat het aantal sparring momenten over de planning mogelijk afneemt.

HOOFDSTUK 7

CONCLUSIE, AANBEVELINGEN EN BEPERKINGEN

In dit laatste hoofdstuk van het onderzoek is de eindconclusie weergegeven. Op basis hiervan worden aanbevelingen gedaan voor planningsmanagement bij Arcadis. Ook is gekeken naar mogelijk toekomstig onderzoek en welke verbeteringen in het planningsmanagement verder nog ontwikkeld kunnen worden.

In paragraaf 7.1 wordt de eindconclusie van dit onderzoek gepresenteerd. Vervolgens worden de aanbevelingen voor Arcadis behandeld in 7.2. De beperkingen van dit onderzoek worden uitgelegd in paragraaf 7.3.

7.1 Eindconclusie

Allereerst zijn de problemen in het huidige planningsmanagement en de huidige, deterministische planningsmethode onderzocht. De belangrijkste problemen die naar voren komen, zijn:

- de huidige deterministische planningsmethode geen rekening houdt met de verschillende onzekerheden in de projecten, terwijl de projecten veel onzekerheden bevatten;
- doordat de input van een planning (doorlooptijden van activiteiten) niet eenduidig bepaald wordt, verlaagt dit de kwaliteit en betrouwbaarheid van de planningen;

In het theoretisch onderzoek is uitgezocht welke type onzekerheden kunnen worden onderscheiden in het planningsmanagement, namelijk spreidingsonzekerheden, gebeurtenis-onzekerheden en systemische onzekerheden. Uit een vergelijking van verschillende planningsmethoden, is de probabilistische planningsmethode gekozen, omdat in deze methode de onzekerheden statistisch kunnen worden gekwantificeerd.

Door de probabilistische planningsmethode toe te passen op een Arcadis project kan geconcludeerd worden dat:

- a. bij de DPM worden impliciet onzekerheden meegenomen in het bepalen van de Tmost, omdat tijdens het bepalen van de Tmost met spreiding uit de PPM specialisten aangaven welke aannames ze hadden gemaakt. De bepaling van de Tmost in de PPM leidt tot een eenduidigere bepaling van de Tmost dan bij de DPM, omdat aannames en onzekerheden expliciet worden;
- b. Aangezien in de PPM aannames en onzekerheden expliciet worden, kan een planner beter sturen op de doorlooptijd;
- c. De probabilistische planning levert extra sturingsinformatie naast de deterministische planning namelijk, de kans dat de daadwerkelijke doorlooptijd kleiner of gelijk is aan een bepaalde waarde. Hiermee kan worden ingeschat of een kans voor een bepaalde doorlooptijd acceptabel is voor zowel de externe opdrachtgever of de interne projectmanager. Daarnaast kan met de PPM het effect van beheersmaatregelen op zowel de kans als de doorlooptijd zelf bepaald worden. Op basis hiervan kan worden afgewogen of een beheersmaatregel de investering waard is.

In dit onderzoek wordt antwoord gegeven op de hoofdvraag:

Hoe kan de kwaliteit van het planningsmanagement en de betrouwbaarheid van de planningsmethode van Arcadis projecten worden verbeterd?

Het antwoord is dat door het invoeren van probabilistische planningsmethode naast de deterministische planningsmethode ten eerste, de betrouwbaarheid van de bepaling van de meest

waarschijnlijke doorlooptijd verhoogd wordt, doordat in het bepalen van de doorlooptijd impliciete onzekerheden expliciet worden gemaakt. Ten tweede, worden in de probabilistische methode onzekerheden en risico's meegenomen en de bepaling van de kans of een bepaalde doorlooptijd gerealiseerd kan worden. Dit is relevante sturingsinformatie waarmee de kwaliteit van het planningsmanagement van Arcadis projecten verbeterd wordt.

Het is op basis van deze ene casus nog niet duidelijk of de PPM voldoende toegevoegde waarde oplevert ten opzichte van de DPM gezien de extra complexiteit van deze methode. Hiervoor moet de PPM op meer projecten worden toegepast en onderzocht.

7.2 Aanbevelingen en toekomstig onderzoek

Voor Arcadis is het nu de taak om de probabilistische planningsmethode uit te testen op een aantal pilot projecten en te evalueren. Mochten deze methode voldoende toegevoegde waarde blijken te hebben dan kan het gebruik van de probabilistische planning verder geïmplementeerd worden. Aanbevolen wordt dat de deterministische en probabilistische planning naast elkaar ingezet worden om de doorlooptijd te sturen. Verwacht wordt dat deze methode toegevoegde waarde biedt voor alle projecten in de GWW-sector met een hoge onzekerheidsfactor. Dit moet echter nog wel verder worden onderzocht.

De probabilistische planning kan worden geïmplementeerd binnen Arcadis. Voor de implementatie zijn de volgende uitgangspunten van belang:

- Opleiden van projectteams;
- Aanpassen van het planningsproces;
- Software aanschaffen en installeren;
- Evalueren van het werken met probabilistische planningsmethode.

De huidige KPI's voor de planning zijn vooral gericht op het beheersen van de doorlooptijd tijdens de uitvoering van een project. Er zijn geen KPI's om de kwaliteit van het planningsmanagement na afloop van een project te bepalen en te vergelijken met andere projecten. Daarnaast zijn er geen KPI's om in beeld te brengen wat de kwaliteit is van de tijdsbeheersing van de verschillende werkvelden. Om de sturing van het planningsmanagement te verbeteren en performance van projecten te kunnen analyseren en te vergelijken, zijn een aantal extra KPI's ontwikkeld. Aanbevolen wordt om deze KPI's in de praktijk te gaan testen en te evalueren.

Om de planning van projecten te kunnen analyseren en de kwaliteit van de planning tussen projecten te kunnen vergelijken dienen historische kwantitatieve en kwalitatieve data te worden opgeslagen en gevisualiseerd. Denk hierbij aan alle versies van geactualiseerde plannings van een project, onzekerheden en risico's en hun impact op de doorlooptijd, en de data van KPI's van planningsmanagement. Het nieuwe ERP-systeem van Arcadis biedt mogelijkheden om deze historische data van projecten vast te leggen. Wel dient nog onderzocht in welke mate de aanbevolen data moet worden opgeslagen en hoe ze gevisualiseerd kunnen worden.

Wanneer de probabilistische planningsmethode in meerdere projecten is uitgevoerd en de aanbevolen KPI's zijn vastgelegd, kan de performance van planningsmanagement over meerdere projecten worden geanalyseerd. Op basis hiervan kunnen normen bepaald worden waaraan de kwaliteit van het planningsmanagement moet voldoen. Op basis hiervan kunnen structurele verbeteringen in het planningsmanagement worden doorgevoerd.

7.3 Beperkingen

Het uitgevoerde onderzoek van deze scriptie heeft een aantal beperkingen:

- De analyse van de problemen van de huidige planningsmethode is gebaseerd op kwalitatief onderzoek van twee projecten waarin aanbestedingscontracten worden

opgesteld. Daarbij zijn 9 personen geïnterviewd uit de twee planningsteams van deze projecten. Door de beperkte omvang van het aantal projecten in dit onderzoek, moet verder onderzoek worden gedaan of de conclusies en aanbevelingen ook voor andere typen projecten gelden.

- De kwantitatieve analyse en bevindingen zijn gebaseerd op de toepassing van de probabilistische planningsmethode op één deel van een enkel type project. Om de bevindingen van deze studie te ondersteunen en te bepalen of deze methode ook voor het planningsmanagement van andere type projecten toegevoegde waarde heeft, zal deze methode ook op andere projecten moeten worden toegepast en geëvalueerd.
- De toegevoegde waarde van de probabilistische planningsmethode is uitgetest op een reeds afgerond project. Het bepalen van de spreiding in doorlooptijden en het inschatten van onzekerheden en risico's zijn door projectteamleden achteraf gedaan. Hierbij konden ze hun ervaringen en kennis over het reeds voltooide project impliciet meenemen in hun inschattingen. De vraag is of zij zonder deze ervaring en kennis dezelfde inschattingen hadden gemaakt. Om deze limitatie te voorkomen, zal deze methode uitgetest moeten worden op nieuwe Arcadis projecten vanaf de start.

REFERENTIES

- Alon, N., & Spencer, J. H. (2011). The Basic Method. In *The Probabilistic Method* (pp. 1–13). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470277331.ch1>
- Ballard, G. Howell, G., Tommelein, I. Zabelle, T. (2007), *The last planner production system workbook*. University of California, Berkeley, Pa: Lean Construction Institute.
- Chapmann, C., & Ward, S. (2011). How to Manage Project Opportunity and Risk. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Chaudhuri, S., et al. (2011). An overview of Business Intelligence Technology. Washington: Communications of the ACM.
- Chaudhuri, S., et al (2011). Database technology for decision support systems. California: IEEE.
- Dekking, F. M., Kraaikamp, C., Lopuhaä, H. P., & Meester, L. E. (2005). A Modern Introduction to Probability and Statistics. London: Springer-Verlag
- Ellis, G. (2016). The Critical Path Method. In *Project Management in Product Development* (pp. 43–56). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802322-8.00003-6>
- Goldratt, E. M., & Goldratt, E. M. (2018). *Critical Chain* Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781351218986-19>
- Gpd.today. (z.d). Geraadpleegd van <https://gpd.today/platform/>
- Hamzeh, F., Ballard, G., & Tommelein, I. (2009). Is the Last Planner system applicable to Design? A case study. Proc. 17th Annual Conf. Intl. Group for Lean Construction. Taipei, Taiwan.
- Hulett, D. T., & Nosbisch, M. R. (2012). Integrated cost-schedule risk analysis. In *AACE International Transactions* (Vol. 3, pp. 1772–1793). <https://doi.org/10.4324/9781315589015>
- Kelley, J., & Walker, M. (1959). Critical-Path Planning and Scheduling. Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference.
- Leach, L.P., (2000) Critical chain project management. Artech House Inc., pp 112-113.
- NASA. (2013). Analytic Method for Probabilistic Cost and Schedule Risk Analysis: National Aeronautics and Space Administration, NASA)
- Richards, J. L. (2004). Critical path method. In *the Engineering Handbook, Second Edition* (pp. 211-1-211-9). CRC Press. <https://doi.org/10.2307/3007695>
- Saitou, N. (2013). Binomial Distribution. In *Brenner's Encyclopedia of Genetics: Second Edition* (pp. 331–331). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374984-0.00152-2>
- Tareghian, H. R., & Taheri, S. H. (2006). On the discrete time, cost, and quality trade-off problem. *Applied Mathematics and Computation* 181, 1305-1312.
- van Asselt, M., & Rotmans, J. (2002). Uncertainty in integrated assessment modelling. *Climatic Change*, 54, 75-105.
- van der Sluis, P. J. (1999). Estimation and Inference with the Efficient Method of Moments: With Applications to Stochastic Volatility Models and Option Pricing. Amsterdam: Thela Thesis. TI Research Series nr. 204

van Well-Stam, D., Lindenaar, F., van Kinderen, S., & van den Bunt, B. (2003). Risicomanagement voor projecten. Utrecht: Spectrum.

Virine L, Trumper M (2017). *Project Risk Analysis Made Ridiculously Simple*. World Scientific Publishing. ISBN 978-9814759373.

Yeager, K. (2017). SPSS Tutorials: Pearson Correlation [Powerpoint slide]. Geraadpleegd van <https://libguides.library.kent.edu/SPSS/PearsonCorr>

Ziegel, E. R., & Winston, W. (1997). Simulation Modeling Using @Risk. *Technometrics*, 39(3), 345. <https://doi.org/10.2307/1271163>

Appendix A

In deze appendix wordt de afweging gemaakt tussen de verschillende beschikbare planningsmethoden die van toepassing zijn voor projecten vanuit de GWW-sector. Om tot de meest geschikte methode voor dit onderzoek te komen, zijn verschillende methoden op verschillende criteria beoordeeld. Op basis van literatuuronderzoek zijn de volgende methoden geselecteerd:

- *Last Planner Systems (LPS)*: LPS is een collaboratieve planningsmethode waarin het projectteam betrokken wordt in planning in plaats van een centrale planner. Deze methode is een onderdeel van de Lean filosofie benadering en is ontwikkeld door Howell en Ballard (1992). Filosofieën zoals Just-In-Time (JIT) management, value stream mapping (VSM) en Pull Planning worden gebruikt om vertraging te beperken (Ballard, Howell, Tommelein, Zabelle, 2007)
- *Critical Chain projectmanagement (CCPM)*: CCPM is een door Eli Goldratt ontwikkelde planningsmethode. Deze methode focust zich op de beschikbaarheid van liquide middelen (mensen, apparatuur, fysieke ruimtes) die nodig zijn om de activiteiten van het project uit te voeren. Deze methode rekent af met het onbewust verloren tijd/kansen op versnelling, met het inefficiënt gebruik van resources en met het werken met deadlines (Goldratt, 2018).
- *Probabilistische planningsmethode (PPM)*: De PPM is ontwikkeld door Paul Erdos voor het opnemen van de verschillende vormen van onzekerheid in de planning. Deze methode rekent de planning statistisch door waarbij met het opnemen van een onzekere doorlooptijd van activiteiten ook rekening te houden met risico's in de planning (Alon & Spencer, 2011). De project einddatum wordt uitgedrukt in een kans dat deze lager of gelijk is een bepaalde doorlooptijd.

In overleg met expert planners binnen Arcadis zijn criteria opgesteld waar de planningsmethode voor dit onderzoek aan moet voldoen. Hieronder zijn de volgende criteria weer gegeven:

- *Projectonzekerheid*: Doordat de complexiteit, omvang en variatie van projecten bij Arcadis toeneemt en door hun dynamische karakter, neemt het aantal en de grootte van de onzekerheden toe. Om deze reden wordt er gezocht naar een planningsmethode die de verschillende vormen van onzekerheid meenemen in de planning om een betrouwbaardere output van de planning te verkrijgen.
- *Betrouwbaarheid (input/output)*: De input voor de planning is afhankelijk van de ervaring en subjectieve inschatting van de specialist. Hierdoor is niet duidelijk of en hoe een bepaalde onzekerheid is meegenomen in input van de planning. Daarom wordt er gekeken of de methoden inschattingen en aannames over onzekerheden en risico's explicieter naar boven halen.
- *Sturingsinformatie*: De methode moet het mogelijk maken om de effectiviteit en efficiëntie van beheersmaatregelen om vertraging te voorkomen, zichtbaar maken.

Projectonzekerheid

Op basis van de criteria "projectonzekerheid" worden de verschillende methode getoetst. Met de LPS wordt geen rekening gehouden met de project onzekerheid en focust zich op het actualiseren van de planning op korte termijn. Hierdoor wordt de onzekerheid geëlimineerd uit de planning. Deze methode houdt geen rekening met analytische methoden, waardoor deze methode nog steeds laag scoort op dit punt (Hamzeh, Ballard & Tommelein, 2009). De CCPM is geschikt voor grote hoeveelheden aan taken met een grote onzekerheid en herkent echter wel de onzekerheid en variabiliteit van de doorlooptijd van projectactiviteiten (Leach, 2000). Deze methode scoort daarom beter dan de LPS of CPM. De techniek die het hoogst scoort is de PPM die rekening houdt

met verschillende vormen van onzekerheid en focust zich niet alleen op de variabiliteit van doorlooptijden. Deze methode maakt het mogelijk dat iedere activiteit een eigen statistische verdeling kan hebben. Tevens houdt deze methode ook rekening met de kans van optreden en tijdsgevolgen van onzekere gebeurtenissen.

Betrouwbaarheid (input/output):

De LPS-methode legt de verantwoordelijke rol van het plannen bij diegene die verantwoordelijk zijn voor het uitvoeren van de werkzaamheden. In het geval van projectteam van Arcadis zal de verantwoordelijkheid liggen bij de werkveldleiders. De voordelen van deze methode zijn dat het zorgt voor betere kennis over de activiteiten, creëert commitment omdat de werkveldleiders zelf verantwoordelijk worden voor de planning en betere communicatie tussen de teamleden onderling van een werkveldleider. Een centrale planner is verantwoordelijk voor de koppeling tussen de werkveldleiders en verschillende fases van het project. Deze methode is echter ontwikkeld voor de uitvoeringsfase van bouwprojecten. De toepassing en de betrouwbaarheid van planning op het type project van dit onderzoek moet nog verder onderzocht worden. Vandaar dat de LPS-methode maar gedeeltelijk aansluit op dit onderzoek. De CCPM houdt rekening met dat de doorlooptijd van een activiteit beïnvloed wordt door de diegene die de activiteit uitvoert. Deze methode doet dit door een percentage van de doorlooptijd van iedere activiteit af te trekken en vervolgens dit percentage te gebruiken als projectbuffer. Hierdoor wordt het risico dat bepaalde specialisten verkapt risico's meenemen in de doorlooptijd weggenomen. Bovendien gaan specialisten efficiënter werken wat resulteert in het verminderen van de doorlooptijd. De PPM houdt in tegenstelling tot de huidige methode rekening met de spreiding van doorlooptijden. Om deze spreiding in kaart te brengen wordt tijdens de uitvraag hierop door gevraagd, zodat de input voor de planning betrouwbaarder wordt. Of dit ook echt het geval is, zal in dit onderzoek verder onderzocht moeten worden. Om deze reden sluit deze methode gedeeltelijk aan op dit onderzoek.

Sturingsinformatie

Met de LPS-methode worden metingen gebruikt als KPI's. Met de metingen wordt de betrouwbaarheid van plannen gemeten en levert geen extra sturingsinformatie dan de huidige methode. De CCPM levert extra sturingsinformatie in de vorm van tijdsbuffers. De PPM levert sturingsinformatie over de kritische punten en de effecten van beheersmaatregelen voor deze kritische activiteiten/risico's op de planning. De planning kan gebruikt worden om keuzes te maken in beheersmaatregelen. Deze methode levert extra informatie over de effectiviteit en efficiëntie van beheersmaatregelen om risico's te voorkomen. Daarnaast levert de methode informatie om te sturen op de kans dat doorlooptijden gehaald kunnen worden. Vandaar dat deze methode hoger scoort dan de andere twee.

De methoden zijn getoetst op de verschillende criteria op basis van expert opinion intern bij Arcadis. De resultaten van deze toetsing zijn te zien in tabel 13.

Tabel 13 Afwegingscriteria (++ = Sluit aan, + = Sluit gedeeltelijk aan, ? = onbekend, 0 = sluit gedeeltelijk niet aan, -- = sluit niet aan)

Criteria	CPM	LPS	CCPM	PPM
Houdt rekening met project onzekerheid	--	-	+	++
Betrouwbaarheid van de planning (input, output)	-	+	+	+
Sturingsinformatie	-	+	+	++

Conclusie

Op basis van de scores en de onderbouwde afwegingen zal de PPM gebruikt worden voor dit onderzoek.

