

## Hoe haalbaar is een tijdige levering van het Bedieningsvoorschrift?



Bas ten Berge

RIGD-LOXIA

17-03-2016

## Document eigenschappen

|                            |                                                                                                                      |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Titel</i>               | Hoe haalbaar is een tijdige levering van het Bedieningsvoorschrift?                                                  |
| <i>Schrijver</i>           | B.B.G. ten Berge                                                                                                     |
| <i>Programma</i>           | Industrial Engineering & Management                                                                                  |
| <i>Versie</i>              | 1.0                                                                                                                  |
| <i>Universiteit</i>        | Universiteit van Twente                                                                                              |
| <i>Faculteit</i>           | School of Management and Governance<br><br>Drienerlolaan 5<br><br>7522 NB Enschede                                   |
| <i>Bedrijf</i>             | RIGD-LOXIA<br><br>Godebaldkwartier 385<br><br>3511 DT Utrecht                                                        |
| <i>Begeleiders</i>         |                                                                                                                      |
| <i>Eerste begeleider</i>   | Dr. ir. P.C. Schuur<br>Universiteit van Twente                                                                       |
| <i>Tweede begeleider</i>   | Ir. H. Kroon<br>Universiteit van Twente                                                                              |
| <i>Externe begeleiders</i> | M. van de Groep<br>Alliantiemanager RIGD-LOXIA<br><br>J. van Sprakelaar<br>Manager Loket en relatiebeheer RIGD-LOXIA |

## Voorwoord

Voor u ligt mijn masterscriptie die ik heb uitgevoerd voor RIGD-LOXIA in het kader van het afronden van de master Industrial Engineering and Management aan de Universiteit Twente. Hier heb ik de afgelopen tijd op diverse bedrijfsterreinen verschillende processen geanalyseerd. De verschillende analyses, conclusies en de daaraan gekoppelde verbetervoorstellen kunt u lezen in dit onderzoek.

Alliantiemanager Menno van de Groep wil ik hartelijk bedanken voor de kans die hij mij heeft gegeven om ervaring op te doen in de interessante, maar ook ingewikkelde spoorwereld bij het prachtige bedrijf RIGD-LOXIA. Ook mijn andere begeleider Jaap van Sprakelaar wil ik hier apart benoemen en bedanken. Ik heb veel van ze geleerd en beide stonden altijd voor me klaar. Ze waren altijd bereid om mijn vragen te beantwoorden en namen echt de tijd om mijn verslagen goed door te nemen. Tevens stelden ze goede kritieke vragen en gaven ze duidelijk advies ondanks hun drukke agenda's. Daarbij komt dat een periode tijdens de scriptie door persoonlijke reden enorm moeilijk voor me is geweest. Ook hierbij kon ik altijd steun bij ze zoeken en hiervoor ben ik ze eeuwig dankbaar.

Tevens wil ik het personeel van RIGD-LOXIA bedanken. In de eerste plaats omdat ik me gelijk welkom voelde en me het gevoel gaven dat ik echt onderdeel was van het bedrijf. Door hen is de complexe bedrijfsomgeving waarin RIGD-LOXIA zich bevindt snel duidelijk geworden.

Tenslotte wil ik mijn afstudeerbegeleider Peter Schuur alsmede Henk Kroon hartelijk bedanken voor hun steun in de vorm van adviezen en opbouwende kritieken gedurende het opstellen van deze scriptie.

Utrecht, 16-03-2016

Bas ten Berge

# Managementsamenvatting

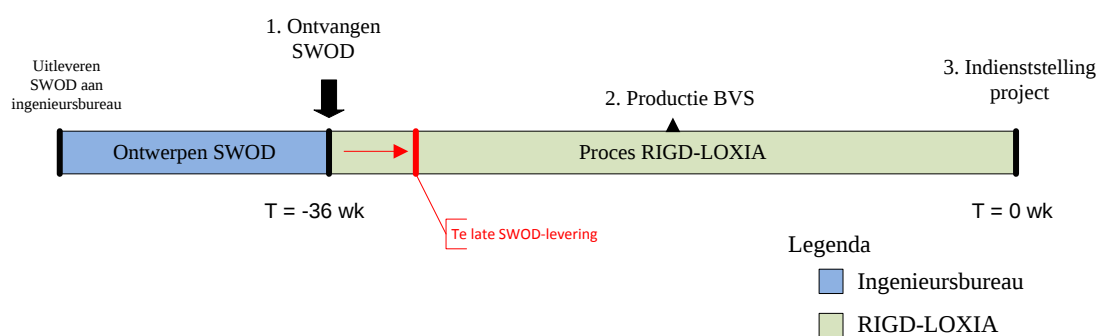
## Introductie

RIGD-LOXIA is producent en beheerder van infragegevens. In de huidige situatie worden deze infragegevens niet tijdig opgeleverd aan de klanten van RIGD-LOXIA. Een voorbeeld van infragegevens is het Bedieningsvoorschrift (BVS). Het BVS is een handleiding voor treindienstleiders en bevat specifieke bedienprocedures. Het is belangrijk dat het BVS op tijd wordt opgeleverd bij treindienstleiders omdat ze anders onvoldoende tijd hebben om zich voor te bereiden op wijzigingen en/of bijzonderheden van het nieuwe spoortraject.

## Probleembeschrijving

Het probleem is dat in de huidige situatie het BVS niet op tijd wordt opgeleverd. Op dit moment wordt een servicegraad van ~30% behaald. De oorzaak van een te late BVS oplevering wordt gelegd bij het te laat ontvangen van de input om de productie van het BVS te kunnen starten. De input waar het BVS van afhankelijk is, is het Seinwezen Overzichts Dossier (hierna: SWOD). Het SWOD, de belangrijkste ‘grondstof’ van het BVS, wordt in 73% van de gevallen te laat aan RIGD-LOXIA opgeleverd.

Dit is een groot probleem aangezien RIGD-LOXIA hierdoor minder tijd heeft om te produceren omdat de indienststellingsdatum van een project altijd vast staat. De indienststellingsdatum is het moment waar het project, bijvoorbeeld een nieuw spoor, klaar is voor gebruik. Dit heeft als gevolg dat het productieproces van RIGD-LOXIA in een korter tijdsbestek moet worden uitgevoerd. Hierdoor komt de productie bij RIGD-LOXIA onder druk te staan en is het voor RIGD-LOXIA niet altijd mogelijk om het productieproces dusdanig te versnellen om de opgelopen vertraging in de procesketen goed te maken. In figuur 1 wordt dit in beeld gebracht:



**Figuur 1: Schematische weergave van het probleem dat het SWOD te laat binnenkomt bij RIGD-LOXIA**

## Onderzoeksvraag

Een van de oorzaken dat het SWOD te laat wordt opgeleverd is dat het SWOD ver voor de indienststelling van het project moet worden aangeleverd aan RIGD-LOXIA, namelijk 36 weken. Dit oplevermoment is procedureel vastgesteld om weer het BVS op tijd op te kunnen leveren. Het BVS moet namelijk ook ver voor de indienststelling worden opgeleverd. Het management wil weten of de huidig vastgestelde oplevermomenten wel juist en haalbaar zijn. Ook is op dit moment niet inzichtelijk op welk moment het SWOD daadwerkelijk te laat binnenkomt om tijdige levering van het BVS te kunnen garanderen. Zodoende is de hoofdvraag van het onderzoek vastgesteld op:

*Waar ligt het kritieke levermoment van het SWOD en wat is de haalbaarheid van de huidig vastgestelde levermomenten van het BVS?*

## Onderzoeksstappen

Om op deze vraag antwoord te kunnen geven zijn de volgende variabelen berekend:

1. Allereerst de huidige procedureel vastgestelde oplevermomenten van het SWOD en BVS
2. Vervolgens de werkelijke oplevermomenten en doorlooptijden van het SWOD en BVS
3. Tenslotte de minimale doorlooptijden van het productieproces van het BVS

Door deze variabelen met elkaar te vergelijken kan de haalbaarheid van de huidig vastgestelde levermomenten worden beoordeeld en het kritieke levermoment van het SWOD worden vastgesteld.

## Korte introductie BVS product

Voordat deze stappen worden uitgevoerd is het allereerst handig te weten uit welke tussenproducten het BVS bestaat en hoe deze worden genoemd.

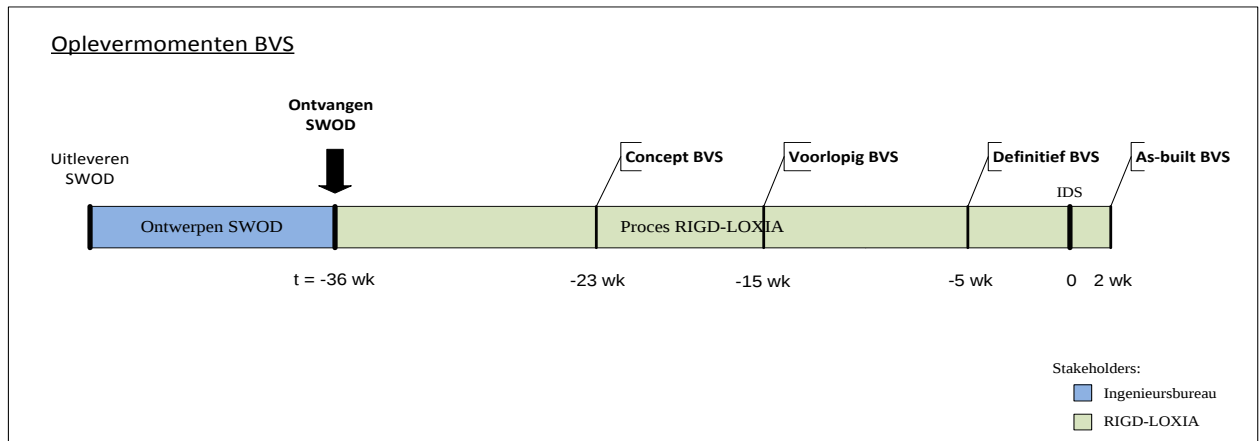
Het BVS heeft vier tussenproducten: drie tussenproducten voor de indienststelling van het project en één erna. De vier tussenproducten hangen af van het moment dat ze moeten worden opgeleverd voor of na de indienststelling en heten:

1. Het **Concept-BVS**
2. Het **Voorlopig- BVS**
3. Het **Definitief-BVS**
4. Het **As-built-BVS**

Nu de tussenproducten van het BVS bekend zijn kan worden gestart met uitvoeren van de gedefinieerde onderzoeksstappen.

### Stap 1: huidig procedureel vastgestelde oplevermomenten van het SWOD en BVS

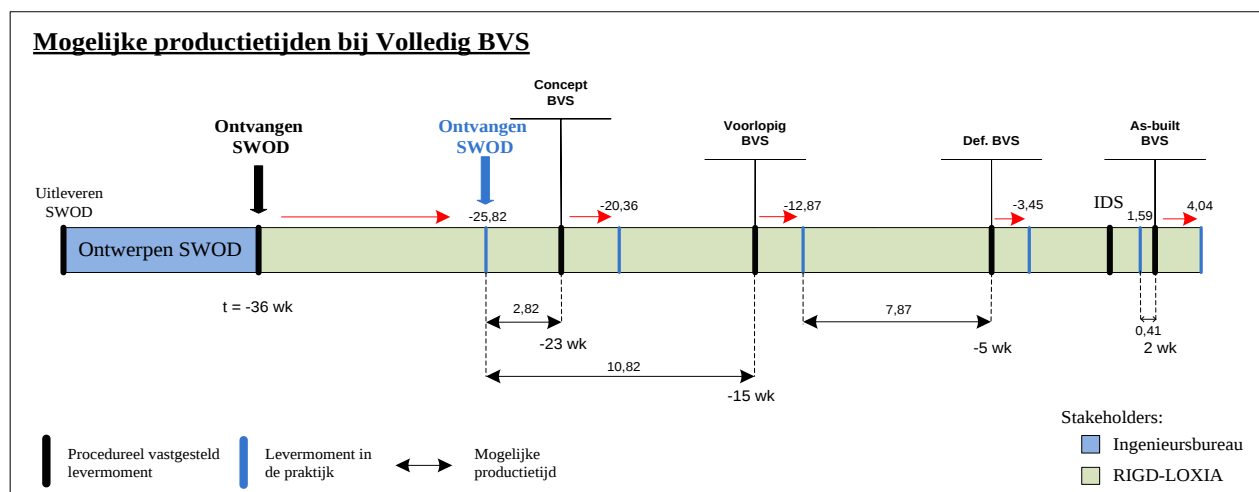
De procedureel vastgestelde oplevermomenten zijn gevonden officiële procedure documenten van ProRail (PRC0029, 2010) en zijn ter verduidelijking geplaatst in dezelfde schematische weergave waarin het probleem visueel is weergegeven. Zie figuur 2.



Figuur 2: Procedureel vastgestelde oplevermomenten van het SWOD en tussenproducten van het BVS

### Stap 2: het inzichtelijk maken van de werkelijke oplevermomenten en doorlooptijden van het SWOD en BVS

Om de werkelijke oplevermomenten en doorlooptijden van het SWOD en BVS inzichtelijk te maken zijn van alle BVS projecten in het jaar 2014 de gemiddeldes berekend van elk oplevermoment in relatie tot de indienststellingsdatum van het project. Ook deze waarden zijn weer geplaatst in dezelfde schematische weergave. Zie figuur 3.



Figuur 3: Schematische weergave inclusief werkelijke oplevermomenten en mogelijke productietijden

Uit figuur 3 zijn een aantal eerder benoemde problemen te herkennen. Allereerst dat het SWOD veel te laat wordt aangeleverd aan RIGD-LOXIA, gemiddeld gezien op 25,92 weken voor de indienststelling. Ook dat RIGD-LOXIA ieder tussenproduct van het BVS te laat oplevert.

Uit figuur 3 is ook af te lezen wat de mogelijke productietijd was die RIGD-LOXIA tot zijn beschikking had om het BVS nog tijdig op te leveren (zie zwarte pijlen). Hiervan is af te lezen dat ondanks het feit dat het SWOD gemiddeld gezien 10,18 weken later wordt opgeleverd aan RIGD-LOXIA, RIGD-LOXIA nog steeds productietijd overheeft om een tussenproduct van het BVS tijdig op te leveren. Deze inzichten zijn een eerste indicatie dat de oorzaak-gevolg relatie tussen een te laat opgeleverd SWOD en een te laat opgeleverd BVS een stuk genuanceerder is dan voor dit onderzoek werd gedacht. Om vast te kunnen stellen of er daadwerkelijk voldoende tijd beschikbaar was voor tijdige opleveringen van het BVS zullen de minimale doorlooptijden van het BVS moeten worden berekend. Dit is uitgevoerd in de volgende stap.

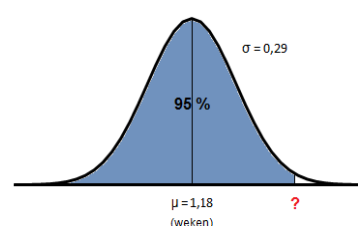
### Stap 3: het berekenen van de minimale doorlooptijden van het BVS

Voor het berekenen van de minimale doorlooptijden van het BVS is gebruik gemaakt van de PERT-methodiek. PERT staat voor Program Evaluation and Review Technique en is een projectplanning analyse methode. De methode heeft tot doel om de benodigde minimale tijd van een project of product te berekenen.

Het generieke productieproces van ieder tussenproduct van het BVS is onderverdeeld in activiteiten waar samen met ervaren BVS-redacteuren zorgvuldig de tijdsduur van is bepaald. Door gebruik te maken van de stochastische eigenschappen en formules van het model zijn zodoende de verwachte doorlooptijden met een servicegraad van 95% berekend van ieder tussenproduct van het BVS. Zie tabel 1.

| Minimale doorlooptijd<br>(in weken) | Verwachte<br>duur<br>( $\mu$ totaal) | Standaard<br>afwijking<br>( $\sigma$ totaal) | $\mu$ totaal<br>(95% service<br>graad) |
|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|
| Concept-BVS                         | 1,18                                 | 0,29                                         | 1,54                                   |
| Voorlopig-BVS                       | 4,25                                 | 1,05                                         | 5,60                                   |
| Definitief-BVS                      | 4,24                                 | 2,94                                         | 8,01                                   |
| As-built-BVS                        | 3,40                                 | 1,19                                         | 4,92                                   |

**Tabel 1: Doorlooptijden van BVS-en met een servicegraad van 95%**



**Figuur 4: Doorlooptijd Concept-BVS met een servicegraad van 95%**

Nu alle benodigde variabelen berekend zijn kan zowel het kritieke levermoment worden bepaald en de haalbaarheid van de huidig procedureel vastgestelde oplevermomenten.

### Vergelijken variabelen: berekening kritieke levermoment

RIGD-LOXIA heeft als doelstelling 95% van de BVS-en tijdig op te leveren. Om het kritieke levermoment te bepalen moet de tijdsduur worden bepaald dat het Concept-BVS met 95% zekerheid is vast te stellen dat het binnen deze periode is afgerond. Zie figuur 4 voor een visuele weergave van dit vraagstuk.

De minimale doorlooptijd van het Concept-BVS met servicegraad 95% is na berekening 1,54 weken. Samen met het procedureel vastgestelde oplevermoment van 23 weken komt daarmee het kritieke levermoment van het SWOD vast te liggen op:

*24,54 weken voor de indienststelling om 95% tijdigheid van het BVS te kunnen garanderen.*

Dit punt ligt ver na het huidig vastgestelde levermoment van 36 weken. De oorzaak-gevolg relatie tussen een te laat opgeleverd SWOD en een te laat opgeleverd BVS ligt dus een stuk genuanceerder zijn dan voor dit onderzoek werd gedacht. Een te late SWOD levering hoeft lang niet altijd te leiden tot een te late BVS oplevering.

Hiermee is bewezen dat het productieproces van het BVS in de huidige situatie ondermaats presteert en andere achterliggende problemen een te laat BVS veroorzaken.

### Vergelijken variabelen: berekening haalbaarheid

Deze berekeningen hebben ook bewezen dat, uitgaande het vastgestelde levermoment van het SWOD op 24,54 weken voor de indienststelling, zowel het Concept, Voorlopig als Definitief-BVS op tijd kunnen worden opgeleverd. De mogelijke productietijd is namelijk groot genoeg om 95% tijdigheid te kunnen garanderen. Dit is bewezen door te laten zien dat de doorlooptijden met een servicegraad van 95% kleiner zijn dan de mogelijke productietijd.

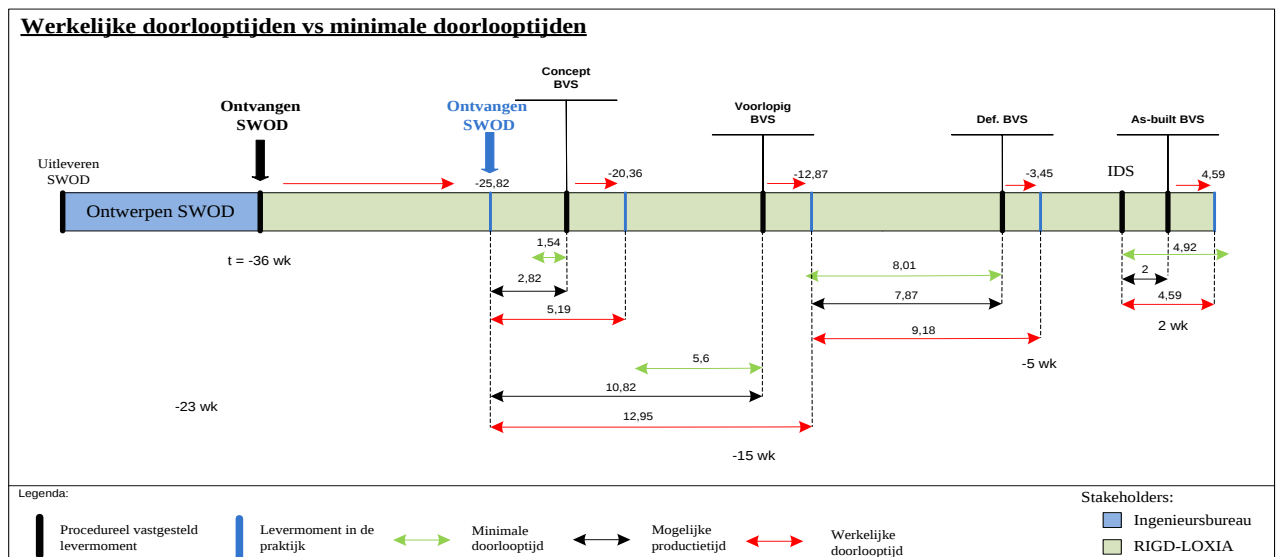
| Projectsituatie 1<br>(in weken) | Procedureel<br>vastgesteld<br>levermoment | Mogelijke<br>productietijd | μ totaal<br>(95%<br>service<br>graad) | Plannings-<br>ruimte<br>(slack) |
|---------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| Concept-BVS                     | -23                                       | 1,54                       | 1,54                                  | 0,00                            |
| Voorlopig-BVS                   | -15                                       | 9,54                       | 5,60                                  | 3,94                            |
| Definitief-BVS                  | -5                                        | 10                         | 8,01                                  | 1,99                            |
| As-built-BVS                    | +2                                        | 2                          | 4,92                                  | -2,92                           |

**Tabel 2: Berekeningen om haalbaarheid tijdigheid van ieder tussenproduct van het BVS inzichtelijk te maken**

Het procedureel vastgestelde oplevermoment van het As-built is echter niet haalbaar. Om 95% tijdigheid van het As-built-BVS te kunnen garanderen is namelijk 4,92 weken nodig, terwijl het binnen 2 weken zou moeten worden opgeleverd. Zie tabel 2.

### Samenvatting

Alle berekende variabelen zijn in figuur 5 samengevat om extra duidelijkheid te verschaffen in de gevonden inzichten.



**Figuur 5: Samenvatting van alle berekende variabelen**

## Conclusie

De huidige procedureel vastgestelde oplevermomenten zijn zeer ruim en haalbaar voor het Concept, Voorlopig en Definitief-BVS. Voor het As-built-BVS is er echter wel te weinig ruimte beschikbaar om tijdige leveringen te garanderen volgens het procedureel vastgestelde oplevermoment.

Het kritieke levermoment van het SWOD is berekend op 25,54 weken voor de indienststelling van het project.

Dit onderzoek heeft ook inzicht gegeven in de oorzaak-gevolg relatie tussen een te laat opgeleverd SWOD en een te laat opgeleverd BVS. Het ligt een stuk genuanceerder zijn dan voor dit onderzoek werd gedacht. Een te late SWOD levering hoeft namelijk lang niet altijd te leiden tot een te late BVS oplevering.

Hiermee is bewezen dat het productieproces van het BVS in de huidige situatie ondermaats presteert en andere achterliggende problemen een te laat BVS veroorzaken.

## Aanbevelingen

Mijn advies is om het procedureel vastgestelde oplevermoment van het SWOD tussen de 36 en 25,54 weken voor de indienststellingsdatum van het project vast te leggen. Dit levermoment zal ingenieursbureaus namelijk meer tijd geven om het SWOD te kunnen produceren en eventuele scopewijzigingen te kunnen verwerken. Dit zou een gunstig effect moeten hebben op de tijdigheid van het SWOD wat het productieproces en de planning van het BVS ten goede zal komen aangezien SWOD's op de afgesproken tijden binnenkomen. Het nieuwe oplevermoment van het SWOD zal echter niet te dichtbij het oplevermoment van het Concept-BVS van 23 weken mogen zitten, omdat ingenieursbureaus in de huidige situatie bijna zelf bepalen wanneer ze het SWOD opleveren aan RIGD-LOXIA. De oplevermomenten van ingenieursbureaus zijn en kunnen in de huidige situatie namelijk niet contractueel worden vastgelegd.

Om het onderzoek te complementeren is ook een opzet gemaakt naar de achterliggende oorzaken van het eigenlijke probleem:

- De huidige operationele planning is niet effectief: te korte planningshorizon en projecten worden onjuist geprioriteerd.
- Het productieproces van het BVS blijkt te veel onderhandenwerk te bevatten waardoor het productieproces overbelast is.

Een productieproces waar het onderhandenwerk op de productievloer te hoog is kan worden gekenmerkt aan: geen tijdige leveringen (lage servicegraad), geen gevoel van controle over het proces, ontevreden klanten, ontevreden werknemers en tenslotte ontevreden managers. Het verband met ontevreden werknemers en managers is in eerste instantie niet snel gelegd, maar wanneer het onderhandenwerk hoog is zullen werknemers constant moeten wisselen van taken aangezien telkens producten met een hogere prioriteit worden doorgedrukt op de productievloer. Dit vergroot de doorlooptijd, maar het voelt daarbij ook chaotisch en inefficiënt voor zowel de medewerker als de managers die het proces aansturen.

#### Oplossingen volgens theorie:

Door gebruik te maken van de theorie van Little's Law kan reductie van de doorlooptijden worden gerealiseerd wanneer:

- het onderhandenwerk (OHW) wordt verlaagd
- de productiesnelheid (TH) wordt verhoogd

In de huidige situatie is het productieproces van het BVS overbelast en liggen er teveel onafgemaakt BVS-en verspreidt op de productievloer. Dat dit door de jaren heen zo is ontstaan is verklaarbaar aangezien ver voor de indienststelling van het project al tussenproducten moeten worden opgeleverd. Op dit moment wordt er geen limiet gesteld op de introductie van producten op de productievloer. Om de doorlooptijden van het BVS te verlagen zal in de nieuwe situatie het proces zo moeten worden ingericht dat het onderhandenwerk wat zich op dit moment op de productievloer bevindt kan worden weggewerkt. Dit is mogelijk door een periode te stoppen met het introduceren van werk op de productievloer. Uit praktijkervaringen wordt geadviseerd om te beginnen met een periode wat gelijk staat aan de helft van de doorlooptijd van het product, het BVS in dit geval (Whitt, 2013). Het is ook mogelijk voor een periode extra personeel aan te nemen om het huidig onderhandenwerk weg te werken. Dit is echter een duurdere oplossing.

Tenslotte zal RIGD-LOXIA in de toekomst het onderhandenwerk in het productieproces ook moeten beheersen. Dit kan worden bereikt met bijvoorbeeld:

- CONWIP
- Kanban

# Inhoudsopgave

|                                                              |      |
|--------------------------------------------------------------|------|
| Document eigenschappen .....                                 | I    |
| Voorwoord .....                                              | II   |
| Managementsamenvatting .....                                 | III  |
| Lijst van afkortingen .....                                  | XIII |
| 1. Introductie .....                                         | 1    |
| 1.1 Bedrijfsbeschrijving van ProRail en RIGD-LOXIA .....     | 1    |
| 1.2 Probleemintroductie .....                                | 2    |
| 1.3 Situatiebeschrijving van de bedrijfsomgeving .....       | 3    |
| 1.3.1 Procesbeschrijving van de gehele keten .....           | 3    |
| 1.3.2 Procesbeschrijving RIGD-LOXIA gedetailleerd .....      | 6    |
| 2. Probleembeschrijving .....                                | 13   |
| 2.1 Probleemintroductie en doel onderzoek .....              | 13   |
| 2.2 De praktische consequenties van het probleem .....       | 13   |
| 2.3 Oorzaken van probleem .....                              | 14   |
| 2.4 Scope onderzoek .....                                    | 17   |
| 2.5 Onderzoeksvragen .....                                   | 19   |
| 2.6 Opleveringen .....                                       | 20   |
| 2.7 Plan van aanpak en lay-out onderzoek .....               | 20   |
| 3. Theoretisch kader .....                                   | 23   |
| 3.1 Theorieën waarin doorlooptijden centraal staat .....     | 23   |
| 3.1.1 Critical Path Method .....                             | 23   |
| 3.1.2 Program Evaluation and Review Technique .....          | 24   |
| 3.1.3 Monte Carlo analyse .....                              | 25   |
| 3.1.5 Keuze model .....                                      | 25   |
| 3.2 De PERT-methodiek .....                                  | 26   |
| 4. Huidige situatie: het BVS .....                           | 29   |
| 4.1 Introductie en procesverloop van het BVS .....           | 30   |
| 4.2 Waar liggen de oplevermomenten volgens procedures? ..... | 33   |

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 4.3 Waar liggen de oplevermomenten in de praktijk? .....   | 34 |
| 4.3.1 Introductie oplevermomenten in de praktijk.....      | 35 |
| 4.3.2 Analyse oplevermomenten in de praktijk .....         | 36 |
| 4.4 Samenvatting en conclusie.....                         | 49 |
| 5. Toepassen theorie: PERT-methodiek.....                  | 53 |
| 5.1 De PERT-methodiek.....                                 | 54 |
| 5.2 Processtappen en tijdsduur van het BVS .....           | 54 |
| 5.2.1 Concept-BVS .....                                    | 55 |
| 5.2.2 Voorlopig-BVS .....                                  | 56 |
| 5.2.3 Definitief-BVS.....                                  | 57 |
| 5.2.4. As-built-BVS .....                                  | 58 |
| 5.3 Kritieke pad en minimale doorlooptijden .....          | 59 |
| 5.3.1. Concept BVS .....                                   | 60 |
| 5.3.2 Voorlopig BVS .....                                  | 62 |
| 5.3.3 Definitief BVS .....                                 | 64 |
| 5.3.4. As-built-BVS .....                                  | 65 |
| 5.4 Kritieke levermoment SWOD.....                         | 68 |
| 5.4.1 Introductie en voorbeeldberekening.....              | 68 |
| 5.4.2 Kritieke levermoment SWOD in projectsituatie 1 ..... | 70 |
| 5.4.3 Kritieke levermoment SWOD in projectsituatie 2 ..... | 74 |
| 5.4.3 Kritieke levermoment SWOD in projectsituatie 3.....  | 77 |
| 5.5 Samenvatting en conclusie.....                         | 79 |
| 6. Discussie: theorie vs praktijk.....                     | 83 |
| 6.1 Kritieke vs procedureel vastgestelde levermoment.....  | 83 |
| 6.2 Werkelijke vs minimale doorlooptijden.....             | 85 |
| 6.2.1 Waarnemingen .....                                   | 86 |
| 6.2.2 Verklaring lange doorlooptijden .....                | 88 |
| 6.2.3 Eerste opzet oplossingen.....                        | 89 |
| 7. Conclusie en aanbevelingen.....                         | 93 |

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| 7.3 Discussie en vervolgonderzoek..... | 93  |
| 7.3.1 Discussie .....                  | 100 |
| 7.3.2 Vervolgonderzoek.....            | 100 |
| Bronnenlijst.....                      | 102 |

## Lijst van afkortingen

|             |                                                              |
|-------------|--------------------------------------------------------------|
| SWOD        | Seinwezen Overzichts Dossier                                 |
| BVS         | Bedieningsvoorschrift                                        |
| Infra Atlas | Informatiesysteem om spoorinfra in de toekomst weer te geven |
| PERT        | Programm Evaluation and Review Technique                     |
| POST-21     | Bedieningssystemen voor de verkeersleiding                   |
| RSE         | Rail System Engineer                                         |
| WVK         | Wegwijzers voor Krachtvoertuigpersoneel                      |

# 1. Introductie

Dit onderzoeksverslag is geschreven voor het afronden van mijn masterstudie Industrial Engineering and Management bij de Universiteit Twente in opdracht van RIGD-LOXIA. Het onderzoek gaat in op de vraag hoe RIGD-LOXIA de tijdigheid van de leveringen van infragegevens aan haar klanten kan verbeteren.

Dit hoofdstuk geeft eerst een korte introductie van ProRail en RIGD-LOXIA in paragraaf 1.1. Waarnaar in paragraaf 1.2 een probleemintroductie volgt en het hoofdstuk wordt afgerond met een situatiebeschrijving in paragraaf 1.3 van de bedrijfsomgeving van RIGD-LOXIA om zodoende de context van het onderzoek duidelijk te maken.

## 1.1 Bedrijfsbeschrijving van ProRail en RIGD-LOXIA

### ProRail

ProRail is een indirecte deelneming van de staat. De Nederlandse Staat is via Railinfratrust B.V. de enige aandeelhouder van ProRail B.V. De directie bestaat uit personen die elk één of meer bedrijfseenheden besturen.

ProRail is verantwoordelijk voor het beheer en de aanleg van spoorwegen en andere spoorgerelateerde infrastructuur in Nederland. ProRail verdeelt de capaciteit op het spoor, regelt alle treinverkeer en informeert vervoerders daarover, bouwt en beheert stations, legt nieuw spoor aan, saneert en onderhoudt bestaande spoorinfrastructuur.

Het werkgebied van ProRail omvat het spoor in Nederland en de aansluitingen op spoor in het buitenland. Bij ProRail zijn ongeveer 4000 mensen in dienst en er wordt gewerkt vanuit vier regio's: Randstad Noord, Randstad Zuid, Noordoost en Zuid. Het hoofdkantoor staat in Utrecht. Daarnaast zijn er vier regiokantoren: Amsterdam, Rotterdam, Zwolle en Eindhoven en verspreid over het land zijn er 13 verkeersleidingposten.

### RIGD-LOXIA

Iedereen in de spoorbranche is direct of indirect gebruiker van rail infragegevens. Om betrouwbare gegevens te kunnen leveren heeft ProRail samen met LOXIA een alliantie gesloten: RIGD-LOXIA genaamd. LOXIA is een BV gevormd uit twee ingenieursbureaus: een dochter van MOVARES Nederland BV en ARCADIS Nederland BV.

Onder de noemer RIGD-LOXIA opereren ProRail en LOXIA samen op het gebied van ontwikkeling van ontwerphulpmiddelen voor ingenieursbureaus en de realisatie van beheersingssystemen op de verkeersleidingposten van ProRail. Daarnaast spelen beheer en uitwisseling van infragegevens een

belangrijke rol. Coördinatie op het ontstaan en/of wijzigen van informatie in projecten en die vervolgens beschikbaar stellen aan gebruikers is één van de taken die RIGD-LOXIA uitvoert. De ambitie van RIGD-LOXIA is om informatie van de juiste kwaliteit op tijd voor klanten en gebruikers van infragegevens beschikbaar te stellen.

Samenvattend kan worden gezegd dat RIGD-LOXIA rail infragegevens verzamelt, maakt, beheert en distribueert voor alle vijf hoofdpijlers van de spoorbranche. Namelijk bij het plannen, besturen, ontwerpen, onderhouden en beheren van het spoor.

Het doel van RIGD-LOXIA is de rail infragegevensketen verbeteren door:

- ontwerptools, engineering en infragegevens te verbinden;
- standaardisatie en digitalisering te bewerkstelligen;
- optimale samenwerking in de keten te bewerkstelligen.

## 1.2 Probleemintroductie

De bedrijfsomgeving waarin RIGD-LOXIA zich bevindt is zeer ingewikkeld en er wordt tevens veel jargon uit de spoorwereld gebruikt. In deze probleemintroductie wordt in algemene termen duidelijk gemaakt wat het probleem is. Een gedetailleerder uitwerking volgt in hoofdstuk 2.

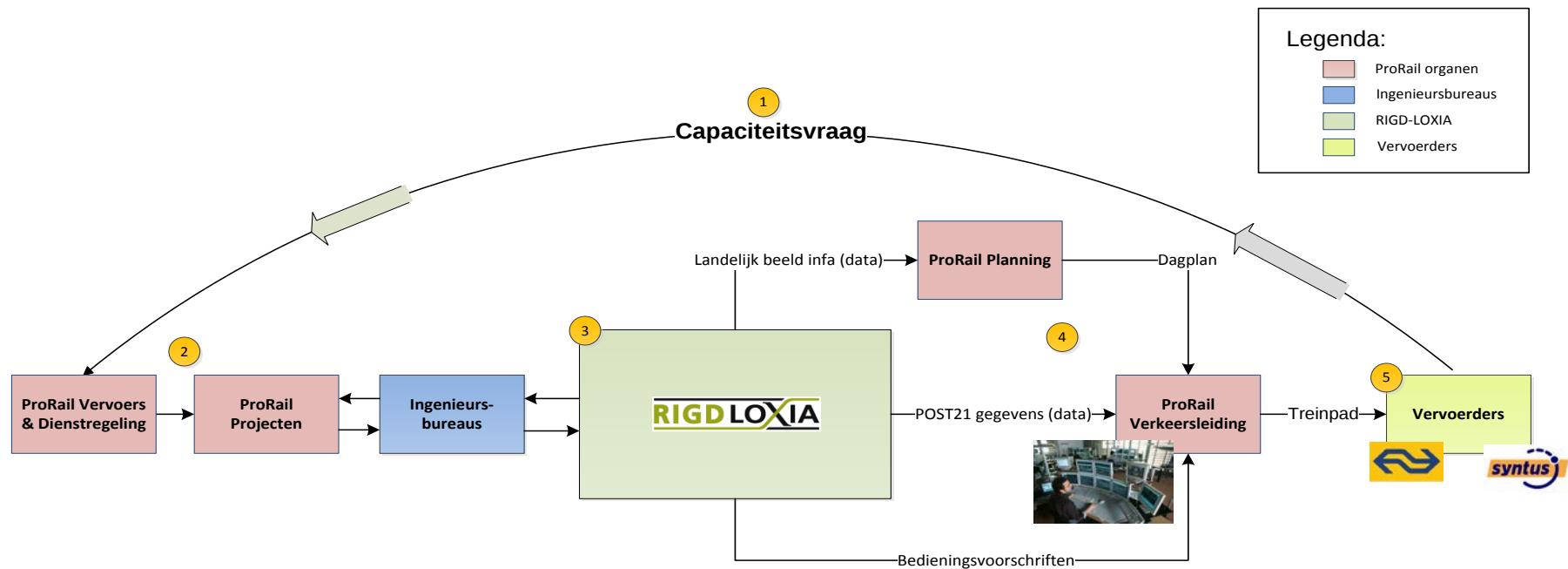
Het hoofdprobleem van RIGD-LOXIA is dat infragegevens niet op tijd worden geleverd conform de gemaakte afspraken. Een van de oorzaken is dat de grondstof voor productie ver voor de opleverdatum zit en leveranciers hier niet aan kunnen voldoen. Op dit moment ligt het op 36 weken voor de indienststelling van het project. Dit historisch bepaalde procedureel vastgestelde levertermijn voor de leverancier is een lange tijd niet onderzocht. RIGD-LOXIA is geïnteresseerd in het kritieke levermoment van de input en of het mogelijk is om dit levermoment te verkorten. Onder 'het kritieke levermoment' wordt het kortste levermoment vanaf de indienststelling van het project verstaan zodat een tijdige levering aan een klant wordt gegarandeerd. Deze informatie zal namelijk een bijdrage leveren aan het uiteindelijke doel om tijdige leveringen van infragegevens aan haar klanten te kunnen garanderen.

## 1.3 Situatiebeschrijving van de bedrijfsomgeving

Aangezien de bedrijfsomgeving waarin RIGD-LOXIA zich bevindt zeer specifiek en ingewikkeld is voor mensen die nooit in de spoorwereld hebben gezeten volgt er allereerst een situatiebeschrijving van de bedrijfsomgeving. Dit wordt aan de hand van twee paragrafen uiteengezet. In paragraaf 1.3.1 wordt de gehele procesketen in kaart gebracht waarin RIGD-LOXIA zich bevindt en in paragraaf 1.3.2 worden zowel een aantal externe partijen als interne processen op een hoger detailniveau beschreven.

### 1.3.1 Procesbeschrijving van de gehele keten

In deze paragraaf is de gehele procesketen waarin RIGD-LOXIA zich bevindt aan de hand van figuur 1 uiteengezet. In dit figuur zijn vijf oranje bolletjes weergegeven die worden toegelicht om op een goede en duidelijke manier de complexe bedrijfsomgeving van RIGD-LOXIA inzichtelijk te maken.



**Figuur 1.1: de gehele procesketen waarin RIGD-LOXIA zich bevindt**

RIGD-LOXIA is producent en beheerder van infragegevens, maar wat betekent dat nu in de praktijk? Figuur 1.1 geeft hiervan een beeld en in het onderstaande tekst zijn de verschillende onderdelen beschreven.

De procesketen waarin RIGD-LOXIA zich bevindt begint met een capaciteitsvraag van vervoerders, dit wordt met de grote pijl bovenaan en oranje cirkel nummer 1 in het figuur weergegeven. Vervoerders als bijvoorbeeld NS, Syntus en goederenvervoer vragen een bepaalde hoeveelheid capaciteit op van het spoor. De afdeling Vervoers & Dienstregeling van ProRail (V&D) komt vervolgens in beeld, want zij zijn namelijk verantwoordelijk voor de capaciteitsverdeling (cirkel nummer 2). Er wordt door ProRail V&D allereerst gekeken of de capaciteitsvraag kan worden opgelost met de huidige railinfra door het aanpassen van de dienstregeling. Is dit niet het geval dan wordt er een initiatief opgezet om de railinfra aan te passen: er wordt een project opgezet. ProRail Projecten, het volgende belangrijke organisatie onderdeel, is bij ProRail verantwoordelijk voor deze projecten.

Er zullen o.a. variantenstudies en ontwerpen moeten worden gemaakt. Hiervoor is specifieke technische kennis nodig en dat wordt geleverd door Ingenieursbureaus. Een ingenieursbureau is namelijk de volgende belangrijke speler in de keten die ProRail helpt met het ontwerpen van nieuwe railinfra. Ingenieursbureaus zijn onder andere verantwoordelijk voor het ontwerp en toetsing van het beveiligingssysteem van het spoortraject. Voor het ontwerpen van nieuwe spoorprojecten hebben ingenieursbureaus infragegevens van de bestaande toestand nodig. Deze bestaan onder andere uit technische documentatie in de vorm van tekeningen. Deze worden beheerd door RIGD-LOXIA.

Naast het beheren van technische tekeningen van het spoor vervult RIGD-LOXIA meerdere taken. Zoals te zien is in het figuur bij cirkel nummer 3, zijn er drie taken in beeld gebracht. Allereerst vertaalt RIGD-LOXIA de nieuwe railinfra situatie naar data, wat als input wordt gebruikt voor het planningsysteem van ProRail. ProRail kan met deze gegevens dagplanningen leveren aan de verkeersleiding, maar ook de dienstregeling ontwerpen voor volgend jaar. RIGD-LOXIA maakt daarnaast ook de bedieningsconfiguratie (POST21-systemen) voor de verkeersleidingssystemen. Met deze bedieningsconfiguratie van RIGD-LOXIA kan de verkeersleiding treinen signaleren en sturen om zodoende het treinverkeer te kunnen beheersen. Om hiervan een beeld te krijgen zie je een voorbeeld van een bedieningsconfiguratie in figuur 1.2. Tenslotte maakt RIGD-LOXIA ook bedieningsvoorschriften (BVS) voor de verkeersleiding. Bedieningsvoorschriften bevatten alle bedienbare elementen van een bepaald spoortraject, maar ook specifieke bedienprocedures die afwijken van de standaard.



**Figuur 1.2: vb. van een bedieningsconfiguratie**

Samengevat zijn er vier taken van RIGD-LOXIA in de informatieketen naar voren gekomen<sup>1</sup>:

Het beheren, uitwisselen en publiceren van technische tekeningen van het spoor, waarmee ingenieursbureaus aan de slag gaan voor het ontwikkelen van nieuwe railinfra.

Het vertalen van de bestaande en nieuwe railinfra op technische tekeningen naar inputdata voor het planningsysteem van ProRail.

Het programmeren en ontwikkelen van de bedieningsconfiguratie voor de verkeersleiding.

Het maken van bedieningsvoorschriften (BVS) voor de verkeersleiding.

Zoals te zien is bij cirkel nummer 4 kan de verkeersleiding met de dagplanning van ProRail Planning samen met de bedieningsconfiguratie en bedieningsvoorschriften van RIGD-LOXIA haar taken

---

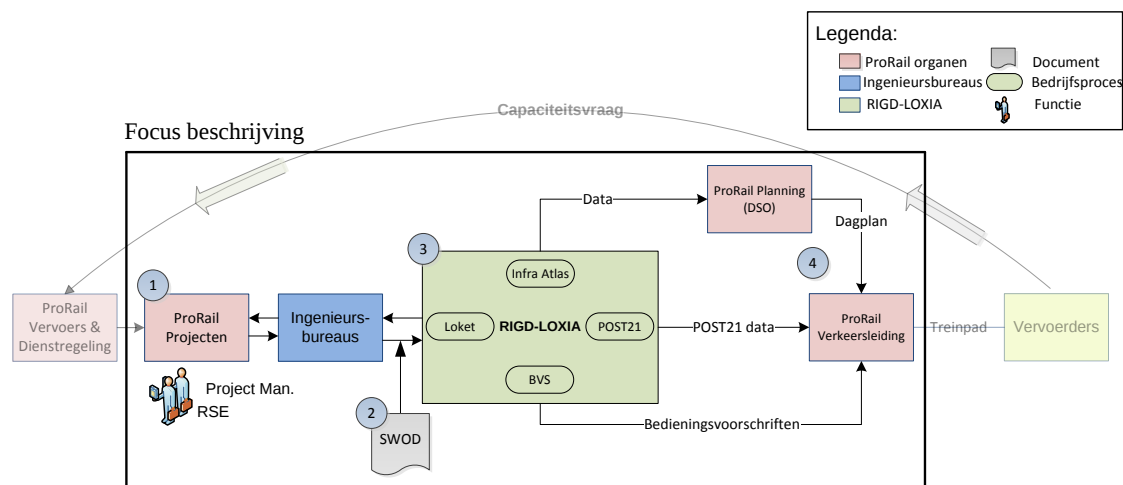
<sup>1</sup> Dit is een overzicht van enkele taken die RIGD-LOXIA uitvoert. Er is een keuze gemaakt om de belangrijkste taken voor dit onderzoek uiteen te zetten, zodat de lezer niet wordt overspoeld met informatie.

uitvoeren. De belangrijkste taak van de verkeersleiding is namelijk het be- en bijsturen van de treindienst en leveren van treinpaden aan vervoerders. Deze vervoerders, bij cirkel nummer 5, leveren op zijn beurt weer een capaciteitsvraag waarmee de cyclus opnieuw zal beginnen. Hiermee zijn we aan het einde gekomen van de procesketen waarin RIGD-LOXIA een belangrijke rol vervult. Hopelijk heeft u hiermee een praktisch beeld kunnen krijgen van wat RIGD-LOXIA onder andere met railinfragegevens doet en in wat voor context dit staat tot de gehele procesketen.

Vanuit dit geschetste beeld kunt u zien dat RIGD-LOXIA altijd in beeld komt bij railinfra wijzigingen. Het bouwen en/of aanpassen van nieuwe treinstations en spoortrajecten is een ingewikkeld proces. Zowel de planning, besturing en beveiliging van het spoor in de huidige als in de toekomstige situatie moet beheerst kunnen worden en begint altijd bij een capaciteitsvraag van vervoerders. Deze procesketen bestaande uit ProRail, ingenieursbureaus, RIGD-LOXIA, verkeersleiding en vervoerders werkt op projectbasis om dit ingewikkelde en altijd continuerende proces in banen te leiden zodat het spoor veilig is en klaar is voor de veranderde vraag in de toekomst.

### 1.3.2 Procesbeschrijving RIGD-LOXIA gedetailleerd

In de vorige pagina is de gehele procesketen globaal in kaart gebracht. Het detailniveau van deze paragraaf is groter, er zal namelijk dieper worden ingegaan op de taken en functies van iedere speler in de procesketen. Ook zijn een aantal functies, documenten en interne bedrijfsprocessen van RIGD-LOXIA toegevoegd. Het schematische figuur uit de vorige paragraaf is hiervoor verder uitgedetailleerd zoals te zien is in figuur 1.3. De zwarte kader in figuur 3 geeft aan waarop de beschrijving in deze paragraaf is gericht.



**Figuur 1.3: Schematische overzicht bedrijfsomgeving RIGD-LOXIA**

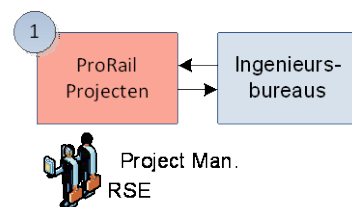
Om structuur te brengen in het spoorse jargon worden vier blauwe cirkels in figuur 1.3 één voor één toegelicht. Allereerst worden de externe partijen besproken, daarna de technische tekeningen, vervolgens de productieafdelingen en ten slotte de klanten van RIGD-LOXIA.

## 1. Externe partijen

Deze paragraaf komt op sommige punten overeen met de uitleg van de procesketen uit paragraaf 1.3.1. De volgende rollen zijn toegevoegd: ProRail Project managers, ProRail Rail System Engineers, de technische tekeningen: het Seinwezen Overzichtsdossier (SWOD) en de interne bedrijfsprocessen van RIGD-LOXIA.

De beschrijving wordt gestart bij cirkel nummer 1 van figuur 1.3. RIGD-LOXIA heeft te maken met de volgende externe partijen, personen en/of leveranciers:

- ProRail Projectmanagers
- ProRail Rail System Engineers (RSE)
- Ingenieursbureaus

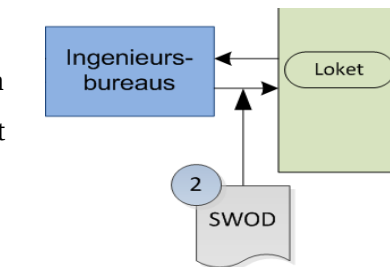


Zoals in de vorige paragraaf al is uitgelegd komt RIGD-LOXIA in beeld wanneer infrawijzigingen plaatsvinden. Infrawijzigingen ontstaan wanneer er een klantvraag binnenkomt bij ProRail. Deze klantvraag kan komen van personenvervoerders, bijvoorbeeld NS, goederenvervoerders of gemeentes. De klantvraag wordt geanalyseerd en wanneer de capaciteitsvraag alleen kan worden opgelost door het veranderen van railinfra wordt een project opgestart binnen ProRail. Onder ‘verandering van railinfra’ kan worden gedacht aan een extra spoor of treinstation dat moet worden gebouwd, maar ook een simpel project als het saneren van een overweg..

Een project wordt geleid door een ProRail Projectmanager die onder het orgaan ProRail Projecten valt. Een projectmanager is eindverantwoordelijke van het project en moet ervoor zorgen dat de indienststellingsdatum wordt gehaald. Een projectmanager wordt tevens bijgestaan door een ProRail Rail System Engineer (RSE). Een RSE’er borgt de technische integraliteit van het project en is verantwoordelijk voor verschillende technische aspecten met achtergronden als civiel, elektrotechniek, bouwkunde, werktuigbouwkunde en treinbeveiliging.

Wanneer ProRail en het projectmanagement een definitieve keuze heeft gemaakt uit de variantenstudie, wordt een ingenieursbureau gecontracteerd door de ProRail Projectmanager. Een Ingenieursbureau wordt aangestuurd door de RSE’er en is verantwoordelijk voor het ontwerp en de complete beveiligingsarchitectuur van het project. Ingenieursbureaus hebben hiervoor technische tekeningen nodig. Technische tekeningen van de rail infra wordt ook wel het Seinwezen en Overzichtsdossier (SWOD) genoemd (cirkel nummer 2). Met behulp van deze SWOD’s werken ingenieursbureaus projecten uit. Aangezien het railinfrastructuur permanent wijzigt door onderhoud of vernieuwing is het van belang dat deze tekeningen op de juiste manier worden beheerd (versiebeheer), zeker wanneer er meerdere projecten worden uitgevoerd op één plek.

RIGD-LOXIA beheert deze technische tekeningen, dus wanneer een projectmanager een ingenieursbureau heeft gecontracteerd worden de vigerende technische tekeningen opgevraagd bij RIGD-LOXIA zoals te zien is in figuur 1.4. Vanaf dat moment werkt het ingenieursbureau het project uit op de technische tekening en levert de aangepaste tekening na enige tijd weer in bij RIGD-LOXIA. Met deze aangepaste technische tekening kan de productie bij RIGD-LOXIA starten. Wat deze technische tekeningen inhouden volgt in het hierna volgende uitgelegd.

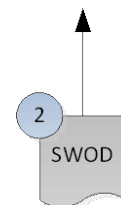


**Figuur 1.4: SWOD-levering aan RIGD-LOXIA**

## 2. Het Seinwezen Overzichts Dossier: SWOD

De omschrijving van de bedrijfsomgeving wordt vervolgd bij cirkel nummer 2. Deze paragraaf laat zien wat het SWOD precies inhoudt.

Het SWOD dat wordt beheerd door RIGD-LOXIA zijn van eminent belang aangezien ze de basis vormen voor veel producten. Je kunt het zien als de belangrijkste grondstof voor RIGD-LOXIA.



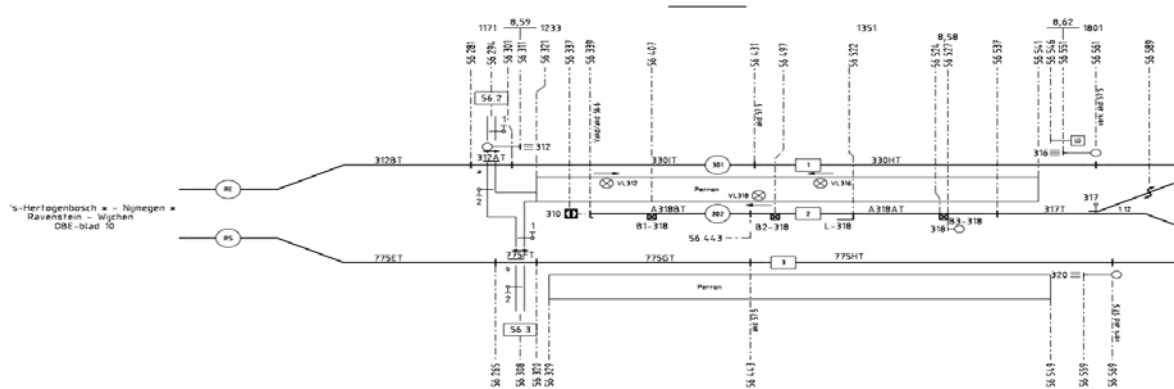
**Figuur 1.5: Technische tekening SWOD**

Het SWOD staat voor het Seinwezen Overzichts dossier en is een verzamelnaam voor drie technische tekeningen. Namelijk het overzicht Baan en Emplacementen (OBE), het Overzicht Retourleidingen (OR) en het Overzicht Seinbeeldrelaties (OS). Om hiervan een beeld te krijgen wordt van elke tekening een uitleg en voorbeeld weergegeven:

### 1. Seinwezen Overzicht Baan & Emplacement (OBE).

Het OBE-blad is een overzichtstekening van de vrije baan en emplacementen. In schematische vorm wordt op een OBE-blad de geografische lay-out en de functionaliteit weergegeven van de vrije baan en emplacementen. In het OBE-blad worden alle seinwees relevante objecten weergegeven, zodat het ontwerp van de beveiliging en de beoogde functionaliteit kan worden geverifieerd. Deze objecten zijn bijvoorbeeld sporen, wissels, seinen en borden

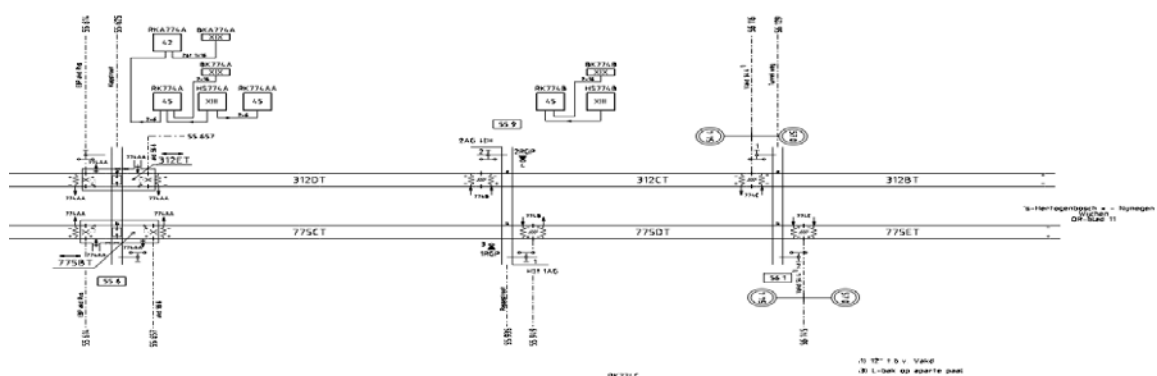
Dit is een veel gebruikte en dus belangrijke tekening van het spoor en er zit tevens data achter de tekeningen. Een OBE-blad vormt namelijk de basis voor andere locatie gebonden tekeningen of databestanden.



Figuur 1.6: voorbeeld van een OBE-blad

## 2. Seinwezen Overzicht Retourleidingen (OR)

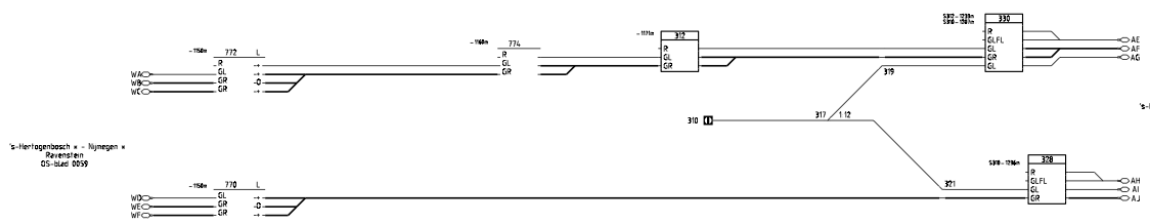
De tweede tekening als onderdeel van het SWOD is het Seinwezen Overzicht Retourleidingen. Hierop staat het overzicht van objecten. Bijvoorbeeld relaïskasten, relaïshuizen, overwegen en viaducten. Deze overzichten worden gebruikt voor plaatsbepalingen bij storingen.



Figuur 1.7: voorbeeld van een OR-blad

## 3. Seinwezen Overzicht Samenhangend Seinbeeld (OS)

De derde technische tekening als onderdeel van het SWOD is een Overzicht samenhangend Seinbeeld (OS-blad). Op een OS-blad zijn in één rijrichting alle seinen te zien en welke seinbeelden deze kunnen tonen in relatie tot de mogelijke rijwegen. Ook zijn alle snelheidsborden terug te vinden op deze kaart. Hier op staat dus precies weergegeven hoe hard een trein op specifieke delen van het spoor mag rijden.

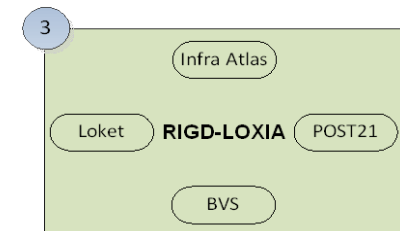


**Figuur 1.8: Voorbeeld van een OS-blad**

Hiermee zijn voorbeelden van de drie onderdelen van het SWOD weergegeven en uitgelegd. Hopelijk is met deze omschrijving het beeld verduidelijkt van het SWOD.

### 3. Afdelingen en producten RIGD-LOXIA

De externe partijen/personen van RIGD-LOXIA en de onderlinge verhoudingen hiertussen zijn samen met de technische tekeningen, de belangrijkste grondstof van RIGD-LOXIA, uitgelegd. In deze paragraaf worden de vier hoofdafdelingen van RIGD-LOXIA uiteengezet, genaamd: Loket, BVS, Infra Atlas en POST21.



**Figuur 1.9: Afdelingen RIGD-LOXIA**

#### 1. Loket (Customer Services)

De RIGD-LOXIA afdeling Customer Services (CS) speelt een belangrijke rol bij de start van projecten. Onder andere relatiemanagement is een belangrijke taak van Customer Services. Activiteiten waarbij u dan aan moet denken zijn: afstemming met ingenieursbureaus en Rail System Engineers over aangemelde en in te plannen projecten en de vastlegging van projecten in het plansysteem. Het loket van RIGD-LOXIA houdt zich verder bezig met het aanbieden, controleren, beheren en het versiebeheer van de technische tekeningen.

#### 2. Bedienings Voorschriften Seinwezen (BVS) afdeling

In opdracht van ProRail is RIGD-LOXIA ook verantwoordelijk om bij een infrawijziging het Bedienings Voorschriften Seinwezen (BVS) aan te passen. De BVS-afdeling maakt deze voorschriften. Deze bedieningsvoorschriften zijn een leidraad voor de bedienaars van de infra, ook wel de verkeersleiding genoemd. Alle elementen die te bedienen zijn, worden vermeld in het BVS. Ook worden specifieke bedienprocedures die afwijken van de standaard in het BVS opgenomen. Je kunt hierbij denken aan maatregelen en veiligheidsprocedures bij storingen, calamiteiten en werkzaamheden.

### 3. Infra Atlas afdeling

Verschillende afdelingen van ProRail hebben infragegevens nodig en zijn klant van RIGD-LOXIA.

Zoals in paragraaf 1.3.1 is uitgelegd, heeft ProRail infragegevens nodig om te kunnen plannen. Om te kunnen plannen is ProRail daarom niet alleen geïnteresseerd in de huidige situatie van de spoorinfra, maar ook in de toekomstige situatie.

Infra Atlas is een informatiesysteem van ProRail die deze functies kan invullen. Infra Atlas genereert een landelijk beeld van de spoorinfra door alle technische tekeningen (SWOD's) te digitaliseren en in samenhang bijeen te brengen. Het geeft een landelijk beeld van de spoorinfra op een zeker moment in de tijd. En dat is mogelijk in zowel het verleden, heden als de toekomst. Zodoende kan ProRail railinfra plannen en gegevens van de railverkeerstechnische aankleding beheren en presenteren.

### 4. POST21 afdeling

Voor de mensen op de verkeersleiding posten maakt RIGD-LOXIA bedieningssystemen, POST21 genaamd (zie figuur 1.10). Bij POST21-systemen worden verscheidene systemen voor de sturing en signalering van het vervoer geïntegreerd voor de treinbeheersing van het spoor in Nederland. Een wijziging in de infrastructuur kan leiden tot wijzigingen in één of meer van deze POST21-systemen. Daartoe moeten de configuraties van de betreffende systemen aangepast worden. Dit wordt in opdracht van ProRail gedaan door de ontwerpers van RIGD-LOXIA. Naast het wijzigen van configuraties worden met hulp van RIGD-LOXIA ook nieuwe POST21-systemen geïntegreerd, applicatiewijzigingen doorgevoerd en netwerkaanpassingen gedaan.



**Figuur 1.10:** Voorbeeld POST21 sconfiguratie

### Extra: WVK-document

WVK staat voor “Wegwijzers voor Krachtvoertuigpersoneel” en is een document dat wordt gebruikt door machinisten in opleiding. Hierin staan alle gebruikershandelingen van een trein en het spoor zodat machinisten getraind kunnen worden of hun kennis onderhouden. De BVS-afdeling produceert en past deze wegwijzers aan, zodat het altijd blijft voldoen aan de (nieuwe) infrastructuur buiten. Alle WVK-documenten worden door RIGD-LOXIA aan ProRail geleverd en zij zetten dit vervolgens op een digitale informatiebank voor de machinisten van NS. Deze digitale informatiebank is zeer belangrijk omdat machinisten hiermee nieuwe spoorprojecten kunnen trainen.

Hiermee zijn de vier hoofdafdelingen van RIGD-LOXIA uiteengezet. Dit waren het Loket, de BVS-afdeling, Infra Atlas en de POST21-afdeling. Tevens is het extra bedrijfsonderdeel en product WVK uitgelegd, aangezien het praktische nut van het product, machinistentraining, direct inzichtelijk is. Hopende u hiermee een duidelijk beeld te geven van de functies van RIGD-LOXIA in deze ingewikkelde bedrijfsomgeving.

## 4. Klanten van RIGD-LOXIA

Onderdeel 4 van deze paragraaf geeft een beschrijving van de klanten van RIGD-LOXIA, zoals te zien is bij cirkel 4 in figuur 3.

RIGD-LOXIA heeft verschillende klanten aan wie ze een vorm van infragegevens beleveren, iedere klant van RIGD-LOXIA is namelijk een gebruiker van infragegevens:

- Allereerst is 'ProRail Planning' een belangrijke klant van RIGD-LOXIA. RIGD-LOXIA produceert namelijk het landelijk beeld van de spoorse infrastructuur en verstuurt dit naar het planningsysteem van ProRail. Dit planningsysteem heet DONNA en wordt beheerd door de DONNA Service Organisatie (DSO). DSO is een directe klant van RIGD-LOXIA en is terug te vinden in figuur 3 onder 'ProRail Planning'.
- ProRail verkeersleiding is een andere belangrijke klant van RIGD-LOXIA. RIGD-LOXIA produceert bedieningsconfiguraties (POST21-systemen) en bedieningsvoorschriften (BVS) voor de verkeersleiding, zodat zij alle treinen op een veilige manier kunnen be- en bijsturen.
- RIGD-LOXIA produceert ook wegwijzers voor machinisten in opleiding (WVK-document). Deze wegwijzers worden geleverd aan een digitale informatiebank van ProRail, de 'wegkennisbank'. De wegekennisbank van ProRail is ook een directe klant van RIGD-LOXIA.
- Tenslotte heeft RIGD-LOXIA te maken met een grote groep afnemers van infragegevens, omdat ze verantwoordelijk is voor het beheer van allerlei technische tekeningen zoals het SWOD. Voorbeelden zijn: machinisten, treindienstleiders, ingenieurbureaus en zelfs personeel van aannemers.

## 2. Probleembeschrijving

Dit hoofdstuk bevat een beschrijving van het probleem en onderbouwing waarom dit onderzoek is uitgevoerd. Allereerst wordt in paragraaf 2.1 het probleem geïntroduceerd, waarnaar in paragraaf 2.2 de praktische gevolgen hiervan worden uitgelicht. In paragraaf 2.3 worden de oorzaken van het probleem in kaart gebracht, waar vervolgens de scope van het onderzoek wordt vastgesteld in paragraaf 2.4. In paragraaf 2.5 worden de onderzoeksvragen opgesteld en in paragraaf 2.6 worden de opleveringen van het onderzoek gedefinieerd. Tenslotte wordt in paragraaf 2.7 het hoofdstuk afgesloten met het plan van aanpak om de opgestelde onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden.

### 2.1 Probleemintrodactie en doel onderzoek

RIGD-LOXIA heeft samen met ProRail de volgende doelstelling opgesteld:

*“Wijzigingen veroorzaakt door infra-projecten juist en tijdig verwerken in informatieproducten voor alle verschillende gebruikersgroepen.”*

Op dit moment kampt RIGD-LOXIA met het probleem dat tijdige leveringen van infragegevens aan haar klanten vaak niet worden gehaald.

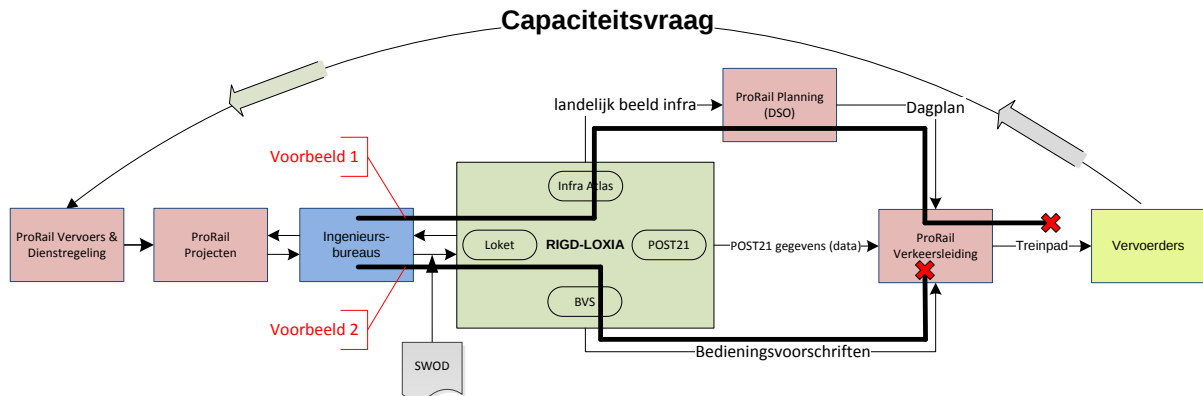
Het is belangrijk dat deze klanten op tijd worden beleverd want wanneer dit niet gebeurt komt de planningsdienst van ProRail in gevaar, zijn mogelijke nieuwe veiligheidsprocedures bij de verkeersleiding niet bekend en kan het zelfs leiden dat er geen treinen kunnen rijden over het nieuwe traject.

Het hoofddoel van het onderzoek en RIGD-LOXIA is om het probleem van te late leveringen van infragegevens aan klanten te analyseren en deze te verminderen.

### 2.2 De praktische consequenties van het probleem

De producten en processen van RIGD-LOXIA zijn complex. Om u een praktisch beeld te geven van de gevolgen van het probleem wordt middels dezelfde schematische tekening uit hoofdstuk 1 enkele voorbeelden weergegeven. Zodoende wordt tevens duidelijk waarom het probleem een hoge prioriteit heeft voor RIGD-LOXIA en geeft het een eerste indruk hoe het probleem naar voren komt binnen de kaders van het onderzoek.

In figuur 2.1 ziet u twee zwarte lijnen die beide een procesverloop voorstellen.



**Figuur 2.1: schematische weergave bedrijfsomgeving van RIGD-LOXIA**

### Voorbeeld 1: Te late Infra Atlas leveringen aan ProRail Planning

Wanneer RIGD-LOXIA het landelijk beeld van de infra niet op tijd levert aan ProRail Planning, kan ProRail Planning op zijn beurt niet op tijd een dagplanning genereren voor de Verkeersleiding. Hierdoor zullen treindienstleiders handmatig planregels moeten invoeren en/of muteren. Naast het feit dat er niet voldoende capaciteit is, wordt de kans op fouten door handmatige mutaties vergroot, wat kan leiden tot een ongewenste situatie. Zodoende kunnen geen of minder treinen over het nieuwe traject rijden met ernstige vertragingen voor reizigers als gevolg.

### Voorbeeld 2: Te late bedieningsvoorschriften (BVS) aan treindienstleiders

Bedieningsvoorschriften zijn handleidingen bij POST21-systemen voor treindienstleiders. Ze bevatten specifieke bedienprocedures. Deze informatie is zeer belangrijk en wanneer RIGD-LOXIA te laat een BVS aflevert aan treindienstleiders hebben ze onvoldoende tijd om zich voor te bereiden op wijzigingen en/of bijzonderheden van het nieuwe spoorproject. Ook dit kan leiden tot een onveilige situatie of beperkte beschikbaarheid die moet worden voorkomen.

Beide voorbeelden zijn consequenties die ten eerste moeten worden vermeden. Dit is de reden waarom het probleem een hoge prioriteit heeft voor RIGD-LOXIA.

## 2.3 Oorzaken van probleem

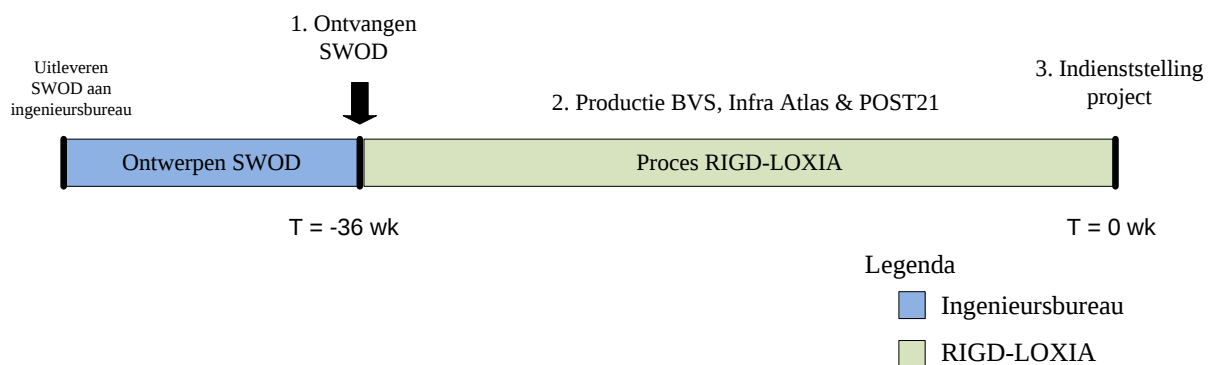
Het probleem is geïntroduceerd. In deze paragraaf worden de oorzaken die ten grondslag liggen aan het probleem in kaart moeten worden gebracht.

Om een goed beeld te krijgen van de oorzaken is het belangrijk om te weten hoe een standaard procesverloop bij RIGD-LOXIA eruit ziet. Elementen en termen uit hoofdstuk 1 komen hierin terug.

Het proces waarin dit onderzoek is gekaderd bestaat uit de volgende stappen:

- Het ontvangen van een definitief SWOD (to-build) van een ingenieursbureau.
- De start van productie bij RIGD-LOXIA. Dit kan het produceren van een bedieningsvoorschrift (BVS), POST21-systeem en/of infra atlas levering zijn.
- De indienststellingsdatum van ieder project geldt als deadline en *einddatum* voor het gehele project. Let wel, dat ieder product zoals; BVS, Infra Atlas en POST21-systeem andere oplevermomenten hebben voor de indienststellingsdatum. Waar die precies liggen is op dit moment niet van belang.

Deze processtappen zijn in figuur 2.2 samengevat:

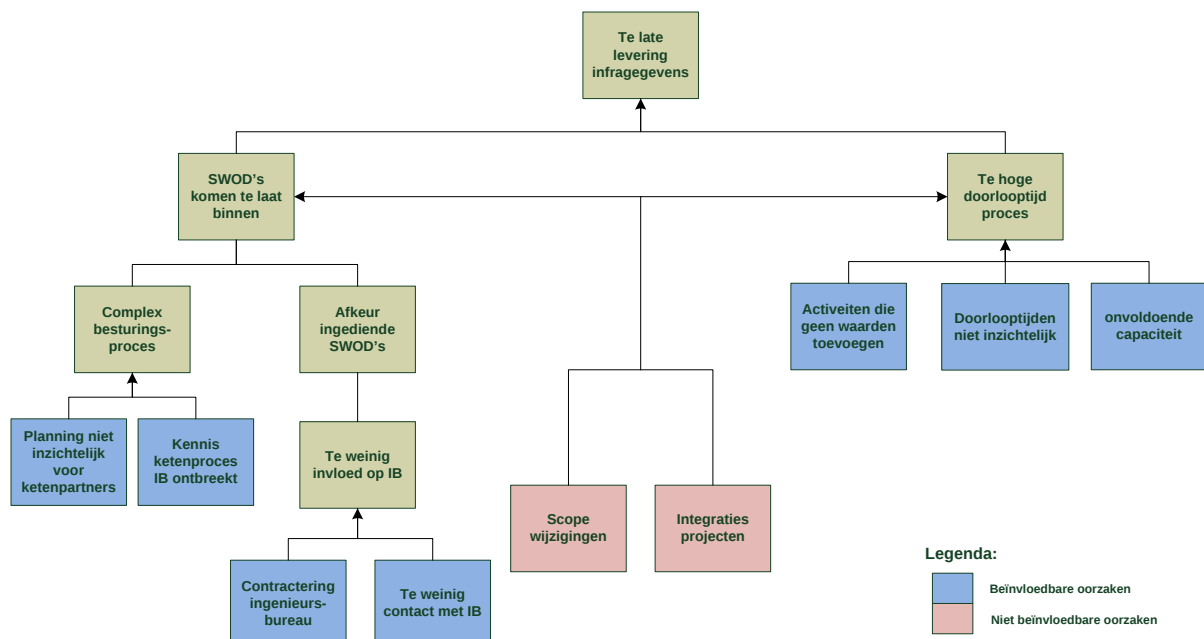


**Figuur 2.2: schematische weergave processtappen RIGD-LOXIA**

## Oorzaken van niet op tijd leveren van infragegevens

Er liggen meerdere oorzaken ten grondslag aan het niet op tijd leveren van infragegevens aan klanten.

Er is een onderzoek uitgevoerd om de achterliggende oorzaken vast te kunnen stellen. Met collega's van RIGD-LOXIA en interviews met ketenpartners is een Value Stream Map (VSM) opgesteld van de gehele keten en daarin zijn alle knelpunten van het probleem geïdentificeerd (Van Sprakelaar & Ten Berge, 2015). Aangezien de VSM te gedetailleerd is voor de probleembeschrijving, zijn de oorzaak-gevolg relaties in figuur 2.3 samengevat. Hier is gebruik gemaakt van een probleemkluwe van Heerkens (2005). Een probleemkluwe is een schematische wijze om verschillende problemen die zich binnen een organisatie voordoen weer te geven en hun onderlinge relaties in kaart brengen. Het hoofdprobleem van te late oplevering van infragegevens staat bovenaan. Daaronder volgen de verschillende oorzaak-gevolg relaties.



**Figuur 2.3: Probleemkluwe gebaseerd op eerste analyses**

De oorzaken zijn geïdentificeerd en gecategoriseerd in figuur 2.3. De eerste categorie is blauw gekleurd en zijn oorzaken die beïnvloedbaar zijn. De tweede categorie is rood gekleurd en zijn niet beïnvloedbare externe oorzaken.

Beïnvloedbare oorzaken:

- Planning oplevermomenten niet inzichtelijk voor ketenpartners.
- Contracten met ingenieursbureaus eisen geen vastgestelde leverdatum SWOD's. Er zitten geen consequenties vast aan te late opleveringen.
- Weinig contactmomenten met ingenieursbureaus. Partnership ontbreekt.
- Er vinden activiteiten plaats in het proces van RIGD-LOXIA die geen waarde toevoegen
- Doorlooptijden processen zijn niet inzichtelijk en te hoog.

Niet beïnvloedbare externe oorzaken:

- Scopewijzigingen door ProRail Projecten. Externe factoren als bijvoorbeeld gemeentebesluiten kunnen invloed hebben op uitvoer van het project.
- Problemen met integraties tussen projecten kan een grote rol spelen bij te late oplevering van projecten. Wanneer bijvoorbeeld verschillende projecten tegelijk plaats vinden op centraal station Utrecht leidt een vertraging van één project tot een kettingreactie van vertraging op aansluitende projecten.

## 2.4 Scope onderzoek

Na het in kaart brengen van de verschillende oorzaken voor te late opleveringen van infragegevens moet het onderzoek worden ingekaderd. Waar ligt de focus van dit onderzoek?

De hiervoor vermelde oorzaken zijn voorgelegd aan de alliantiemanager van RIGD-LOXIA en herkennen de problematiek. Sterker nog, er zijn voor het oplossen van verschillende geïdentificeerde oorzaken projecten opgestart. De projecten richten zich op de volgende oorzaken en vallen hierdoor *buiten* de scope van dit onderzoek:

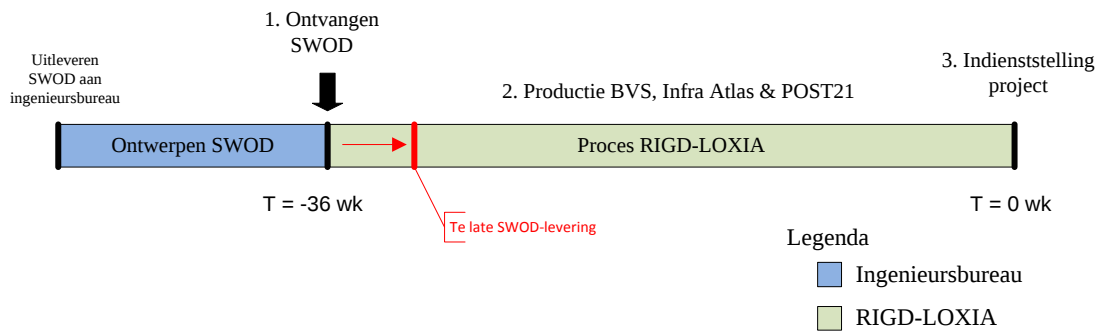
- *Planning oplevermomenten niet inzichtelijk voor ketenpartners:* RIGD-LOXIA gaat het verouderde plansysteem vernieuwen zodat onder andere oplevermomenten voor alle ketenpartners inzichtelijk worden.
- *Weinig contactmomenten met ingenieursbureaus:* RIGD-LOXIA wil een partnership met ingenieursbureaus aangaan. Vier wekelijks overleg wordt ingepland en hierin zal feedback op tijdigheid en afkeur van SWOD's per ingenieursbureau worden gedeeld.
- *Contracten met ingenieursbureaus eisen geen vastgestelde leverdatum :* RIGD-LOXIA heeft een onderzoek gestart naar de mogelijkheden om deze leverdatums vast te leggen in een contract.

SWOD's De focus van dit onderzoek richt zich op de volgende geïdentificeerde oorzaak:

- *Doorlooptijden processen zijn niet inzichtelijk en te hoog.*

De doorlooptijden die RIGD-LOXIA nodig heeft om tijdige opleveringen van infragegevens te garanderen zijn hoog. Om specifiek te zijn, eist RIGD-LOXIA dat ingenieursbureaus 36 weken voor de indienststellingsdatum een SWOD moeten opleveren.

Uit analyse van SWOD-leveringen van de afgelopen 6 maand blijkt dat 73% van alle SWOD-leveringen te laat worden opgeleverd (Plandix, 2015). Dit is een groot probleem aangezien RIGD-LOXIA hierdoor minder tijd heeft om te produceren omdat de indienststellingsdatum van een project altijd vast staat. De indienststellingsdatum is het moment waar het project, bijvoorbeeld een nieuw spoor, klaar is voor gebruik. Dit heeft als gevolg dat het productieproces van RIGD-LOXIA in een korter tijdsbestek moet worden uitgevoerd. Hierdoor komt de productie bij RIGD-LOXIA onder druk te staan en is het voor RIGD-LOXIA niet altijd mogelijk om het productieproces dusdanig te versnellen om de opgelopen vertraging in de procesketen goed te maken. In figuur 2.4 wordt dit in beeld gebracht:



**Figuur 2.4: schematische weergave van een oorzaak van het hoofdprobleem**

Het SWOD komt vrijwel altijd te laat binnen en leidt tot te late leveringen van infragegevens. Het management wil weten of de huidige vastgestelde levermomenten wel juist en haalbaar zijn. Ook is op dit moment niet inzichtelijk wanneer het SWOD nu daadwerkelijk te laat binnenkomt om tijdige opleveringen te kunnen garanderen.

Dit onderzoek wil RIGD-LOXIA helpen met het inzichtelijk maken en optimaliseren van doorlooptijden om zodoende de haalbaarheid en juistheid van de huidige vastgestelde oplevermomenten te kunnen bepalen. Klopt het huidige vastgestelde oplevermoment van 36 weken wel? Ook gaat dit onderzoek het levermoment vaststellen wanneer het SWOD binnen moet zijn met een tijdige levering van infragegevens te garanderen: het kritieke levermoment.

Nu de scope is vastgesteld moet tenslotte nog een keuze worden gemaakt voor welk product of bedrijfsproces deze analyse wordt uitgevoerd.

Uit gegevens van het planningsysteem is gebleken dat voor het BVS een tijdigheid tussen de 30-40% wordt gehaald terwijl de doelstelling is om 95% tijdig op te leveren (Plandix, 2015). Om die reden is samen met het management van RIGD-LOXIA besloten om het onderzoek te richten op het product:

- Bedieningsvoorschriften (BVS)

## 2.5 Onderzoeksvragen

De probleembeschrijving in combinatie met de scope en onderzoeksdoelen hebben geleid tot de volgende onderzoeksvragen:

### Hoofdvraag:

*Waar ligt het kritieke levermoment van het SWOD en wat is de haalbaarheid van de huidige vastgestelde levermomenten van het BVS?*

Deze hoofdvraag is te groot om meteen in zijn geheel te beantwoorden. Om deze reden is de hoofdvraag onderverdeeld in de volgende goed te behappen subvragen:

### Subvragen:

1. *Welke methode uit de literatuur sluit het beste aan op de wensen van RIGD-LOXIA om doorlooptijden van projecten in kaart te brengen?*
  - a. *Welke methodes in de literatuur bestaan er om de doorlooptijd te meten?*
  - b. *Wat zijn de voor- en nadelen van deze methodes?*
2. *Wat zijn de huidige vastgestelde levermomenten van het BVS volgens procedures?*
3. *Waar liggen de oplevermomenten van het BVS in de praktijk?*
4. *Waar ligt het kritieke levermoment van een SWOD-levering om een tijdige oplevering van het BVS te kunnen garanderen?*
  - a. *Uit welke activiteiten bestaat het productieproces van BVS?*
  - b. *Wat zijn de productietijden per processtap van het BVS?*
  - c. *Wat zijn de minimale doorlooptijden voor de productie van het BVS?*
  - d. *Wat is het kritieke pad van de processen en welke processtappen bevatten slack?*
5. *Hoe staat het kritieke levermoment van het SWOD in verhouding met het huidige vastgestelde levermoment?*
6. *Bestaat er een verschil tussen de werkelijke en minimale doorlooptijden? Zo ja, hoe zijn deze verschillen te verklaren?*

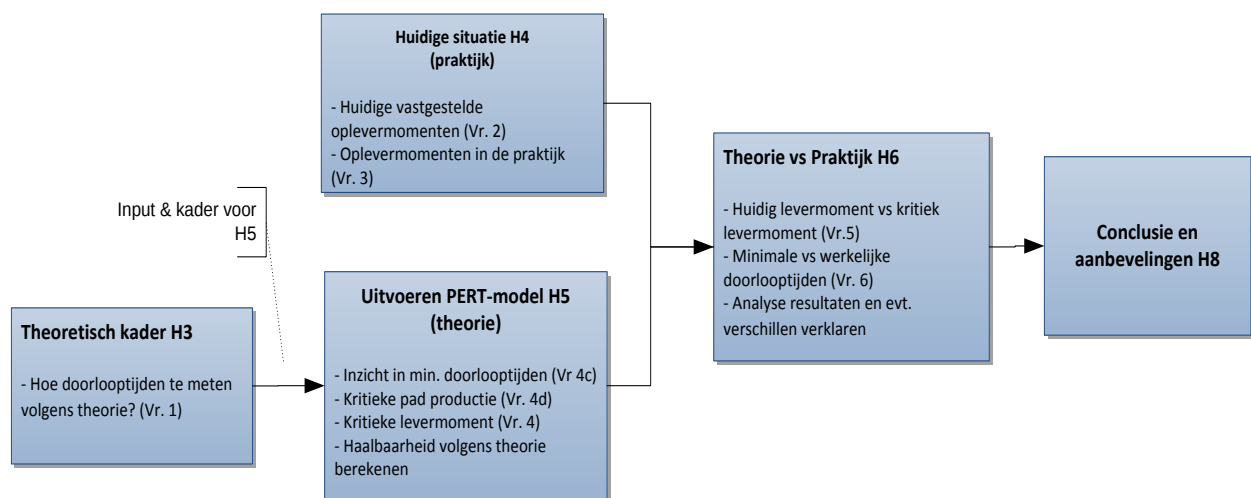
## 2.6 Opleveringen

De opleveringen van dit onderzoek zijn:

- Uitkristalliseren probleem van te late opleveringen van het BVS aan klanten;
- Inzicht geven in de minimale doorlooptijden van het BVS door middel van de PERT-methodiek;
- Het kritieke punt van een SWOD-levering om een tijdige klantleveringen te garanderen;
- Inzicht in de haalbaarheid en juistheid van huidige oplevermomenten die worden gehanteerd;
- Een LP-model dat inzicht geeft in de versnelmogelijkheden van een project en de extra kosten die daarbij komen om een te late SWOD-levering op te vangen.

## 2.7 Plan van aanpak en lay-out onderzoek

Het probleem is gedefinieerd en de onderzoeksvragen zijn opgesteld. Maar hoe wordt het onderzoek op een structurele manier uitgevoerd? Deze paragraaf geeft de relaties en opbouw tussen de verschillende hoofdstukken en onderzoeksvragen weer. Figuur 2.5 wordt hiervoor langsgelopen:



**Figuur 2.5: weergave van relatie tussen onderzoeksvragen en hoofdstukken.**

Allereerst wordt een theoretisch kader gebouwd in hoofdstuk 3. Hier wordt onderzoek ge uitgevoerd door middel van het raadplegen van wetenschappelijke journals uit een digitale database zoals SCOPUS. In dit hoofdstuk zal op zoek worden gegaan naar modellen en theorieën voor het meten en optimaliseren van doorlooptijden van het productieproces en wordt antwoord gegeven op subvraag 1.

In hoofdstuk 4 worden subvraag 2 en 3 beantwoord. Allereerst wordt het BVS product en proces geïntroduceerd waarnaar de huidige vastgestelde oplevermomenten van het BVS in kaart worden

gebracht. Ook worden de werkelijke oplevermomenten in kaart gebracht, zodoende worden namelijk de werkelijke doorlooptijden van het BVS inzichtelijk. Verschillende proceduredocumenten en het planningsysteem van RIGD-LOXIA worden hiervoor geraadpleegd.

In hoofdstuk 5 wordt het PERT-model uitgevoerd om de minimale doorlooptijden van het BVS en het kritieke levermoment van het SWOD vast te kunnen stellen. Hiermee kan de haalbaarheid van de huidige opgelegde levermomenten worden beoordeeld. In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op subvraag 4.

De huidige vastgestelde levermomenten zijn samen met de werkelijke doorlooptijden inzichtelijk gemaakt in hoofdstuk 4 (praktijk). Ook is het kritieke levermoment van het SWOD samen met de minimale doorlooptijden berekend in hoofdstuk 5 (theorie). In hoofdstuk 6 worden deze variabelen met elkaar vergeleken. Bestaan er verschillen tussen de prestaties van het productieproces in de praktijk en de mogelijkheden volgens de theorie? Zo ja, hoe zijn deze verschillen te verklaren? Hoofdstuk 6 gaat op deze vragen antwoord geven.

Hoofdstuk 7 sluit het onderzoek af met conclusies en aanbevelingen voor RIGD-LOXIA.



### 3. Theoretisch kader

De onderzoeksvragen en onderzoeksopzet zijn in het vorige hoofdstuk vastgelegd. In dit hoofdstuk wordt de eerste stap van het onderzoek uitgevoerd: een theoretisch kader definiëren wat als handvat wordt gebruikt voor het vastleggen en meten van doorlooptijden in hoofdstuk 5. In dit hoofdstuk wordt zodoende antwoord gegeven op subvraag 1: *Welke methode uit de literatuur sluit het beste aan op de wensen van RIGD-LOXIA om doorlooptijden van projecten in kaart te brengen?*

De opbouw van dit hoofdstuk is op de volgende manier gestructureerd:

- Paragraaf 3.1
  - o Allereerst worden drie theorieën uiteengezet waarin het meten van doorlooptijden centraal staat. De voor- en nadelen worden belicht om vervolgens de keuze te kunnen maken welke methode het beste aansluit op de wensen van RIGD-LOXIA om zodoende de onderzoeksvragen van dit onderzoek te kunnen beantwoorden.
- Paragraaf 3.2
  - o In deze paragraaf wordt vervolgens het volledige stappenplan van de gekozen methodiek uiteengezet.

Aan het einde van dit hoofdstuk is het theoretisch kader voor dit onderzoek vastgelegd en is de theorie achter de gekozen methodiek volledig inzichtelijk.

#### 3.1 Theorieën waarin doorlooptijden centraal staat

Deze paragraaf beschrijft drie theorieën die betrekking hebben op het meten van doorlooptijden: de critical path method (CPM), de PERT-methodiek en Monte Carlo Analyse.

##### 3.1.1 Critical Path Method

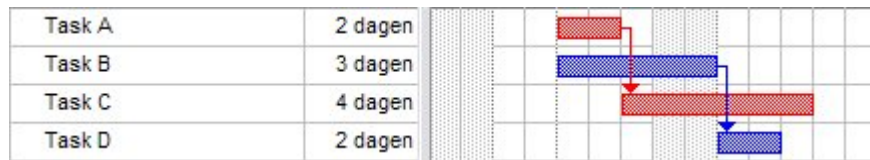
De critical path method (CPM) is de engelse term voor de kritieke pad methode. Het kritieke pad is een begrip uit de theorie van projectplanning dat aangeeft welke activiteiten in een tijdsplanning de einddatum bepalen (Wright, 1969).

Bij de productie van een product ontstaat een kritiek pad wanneer tussen activiteiten afhankelijkheden bestaan. Zo kunnen bij het bouwen van een huis, de muren pas gemetseld worden als de fundering gereed is, en de ramen kunnen pas gezet worden als de muren klaar zijn.

Activiteiten liggen in het kritieke pad, als het schuiven van de activiteit het schuiven van de einddatum veroorzaakt.

### Voorbeeld:

In het onderstaande voorbeeld van een Gantt-grafiek moet taak C na taak A uitgevoerd worden, en taak D na taak B. Door de gezamenlijke lengte bepalen taak A en taak C de einddatum van de planning. Hierdoor liggen Taak A en Taak C in het kritieke pad (hier rood gekleurd).



Het kritieke pad is dynamisch. Mocht bijvoorbeeld Taak D 2 dagen langer duren dan oorspronkelijk gepland en de planning wordt tijdens uitvoering gewijzigd, dan zullen Taak B en D het kritieke pad bepalen en vallen Taak A en C niet meer onder het kritieke pad.

### 3.1.2 Program Evaluation and Review Technique

PERT staat voor Program Evaluation and Review Technique en is een projectplanning analyse methode. De methode heeft tot doel om de minimale benodigde tijd van een product of project te berekenen (Larson & Grey, 2011).

Een bijzondere eigenschap van de PERT-methodiek is dat het een stochastische component introduceert bij het bepalen van de minimale doorlooptijd van een product (Kerzner, 2003). Wanneer een model stochastische componenten bevat, betekent dat grootheden in het model van het toeval afhangen. De verwachte duur van een activiteit staat in dit geval niet vast met een enkele waarde, maar treedt op volgens een bepaalde kansverdeling.

Het bepalen van de tijdsduur van een activiteit wordt niet, zoals het geval is bij de Critical Path Method, vastgesteld met een enkele vaste waarde, maar wordt gebruik gemaakt van drie parameters:

- *Optimistische waarde (O)* – dit is de kortst mogelijke tijdsduur van een activiteit.
- *Waarschijnlijke waarde (W)* – dit is de meest voorkomende tijdsduur van een activiteit.
- *Pessimistische waarde (P)* – dit is de langst mogelijke tijdsduur van een activiteit.

Met behulp van deze drie parameters kan de duur van een individuele activiteit worden geschat met de Bèta-verdeling. De formules hiervoor zijn:

$$\mu_{activiteit} = \text{verwachte tijdsduur activiteit} = \frac{(O+4W+P)}{6}, \text{ met}$$
$$\sigma_{activiteit} = \text{standaardafwijking} = \frac{(P - O)}{6}$$

### 3.1.3 Monte Carlo analyse

De derde methode wat in dit onderzoek wordt besproken is de Monte Carlo analyse. De Monte-Carlo analyse is een simulatietechniek waarbij een fysiek proces niet één keer maar vele malen wordt gesimuleerd, elke keer met andere startcondities. Het resultaat van deze verzameling simulaties is een verdelingsfunctie die het hele gebied van mogelijke uitkomsten weergeeft.

De term Monte-Carlo is afgeleid van het beroemde casino uit Monte Carlo. Dat betekent niet dat het een methode is die gebaseerd is op gokken. Het refereert aan de manier waarop, voor elke nieuwe simulatie (een van de vele), de startcondities worden bepaald, uitgaande van een verzameling van reëel te verwachten condities. Monte-Carlosimulaties worden in verschillende wetenschappelijke toepassingen gebruikt, zoals bij verschillende NASA-projecten waar onzekerheden een belangrijke rol spelen. Ook economische problemen maken veelvuldig gebruik van Monte-Carlosimulaties (Del Moral, 2013).

De Monte-Carломethode wordt meestal toegepast in situaties waarin:

- Het resultaat van een enkele simulatie niet voldoende representatief is in verband met de in werkelijkheid te verwachten variatie van (of onzekerheid met betrekking tot) de startcondities.
- De variatie of onzekerheid van die startcondities bekend is of met voldoende betrouwbaarheid ingeschat en gekwantificeerd kan worden.

De Monte-Carlosimulatietechniek is alleen maar mogelijk dankzij de beschikbaarheid van computers. Immers, een enkele simulatie op zich vraagt in het algemeen al veel rekenkracht. Deze simulatie moet nu, afhankelijk van het gewenste betrouwbaarheidsniveau tientallen tot enkele duizenden malen herhaald worden, elke keer met een nieuwe set invoervariabelen.

### 3.1.5 Keuze model

De critical path method heeft zowel deterministische activiteiten als een deterministisch projectstructuur. Waar het PERT-model stochastische eigenschappen bevat. Het voordeel van het PERT-model is dat het meer lijkt op de werkelijkheid, omdat de duur van activiteiten wordt benaderd met een kansmodel. Daarbij komt dat met deze kansmodellen achter het PERT-model kan worden gerekend, wat nodig is om het kritieke levermoment van het SWOD te bepalen. Monte carlo analyses geven daarentegen een nog betrouwbaarder beeld van de werkelijkheid in vergelijking met PERT en CPM. Alleen zijn hier zeer veel gegevens voor nodig om de simulaties hiervan te kunnen uitvoeren. RIGD-LOXIA beheert deze gegevens niet op dit moment en daardoor is het dus niet aanbevolen om Monte Carlo Simulaties te gebruiken. De keuze is gemaakt op het PERT-model aangezien dit model het beste aansluit op de wensen van RIGD-LOXIA om zodoende de onderzoeksvragen van dit onderzoek te kunnen beantwoorden.

## 3.2 De PERT-methodiek

Om de minimale doorlooptijden van het BVS en het kritieke levermoment van het SWOD te kunnen bepalen is besloten om gebruik te maken van de PERT-methodiek. In deze paragraaf wordt de theorie hierachter toegelicht door gebruik te maken van een makkelijk te volgen stappenplan dat is vertaald naar het productieproces van het BVS. De PERT-methodiek valt onder te verdelen in 5 stappen:

1. Het productieproces van het BVS onderverdelen in activiteiten en de juiste opeenvolging hiervan bepalen.
2. Het opstellen van een netwerkdiagram
3. Het bepalen van de verwachte tijdsduur van elke activiteit
4. Het kritieke pad berekenen en daarmee de minimale doorlooptijd van het BVS berekenen
5. Het bepalen van het kritieke levermoment van het SWOD

### 1. Processtappen en juiste opeenvolging activiteiten

Het productieproces van het BVS zal allereerst moeten worden opgesplitst in verschillende activiteiten. Tevens zullen de afhankelijkheden van activiteiten moeten worden vastgesteld.

### 2. Het opstellen van een netwerkdiagram

Door gebruik te maken van de vastgestelde activiteiten en afhankelijkheden kan een netwerk diagram worden opgesteld. Een netwerk diagram laat op een overzichtelijke manier zien welke activiteiten sequentieel of parallel lopen.

### 3. Het bepalen van de verwachte tijdsduur van elke activiteit

Een bijzondere eigenschap van de PERT-methodiek is dat het een stochastische component introduceert bij het bepalen van de minimale doorlooptijd van een product (Kerzner, 2003). Wanneer een model stochastische componenten bevat, betekent dat grootheden in het model van het toeval afhangen. De verwachte duur van een activiteit staat in dit geval niet vast met een enkele waarde, maar treedt op volgens een bepaalde kansverdeling.

Het bepalen van de tijdsduur van een activiteit wordt niet, zoals het geval is bij de Critical Path Method, vastgesteld met een enkele vaste waarde, maar wordt gebruik gemaakt van drie parameters (Larson & Grey, 2011):

- *Optimistische waarde (O)* – dit is de kortst mogelijke tijdsduur van een activiteit. De activiteit vindt plaats onder de best mogelijke omstandigheden. De tijdsduur van de activiteit heeft een kleine kans dat het deze waarde krijgt.
- *Waarschijnlijke waarde (W)* – dit is de meest voorkomende tijdsduur van een activiteit. De tijdsduur van de activiteit heeft een grote kans dat het deze waarde krijgt.

- *Pessimistische waarde (P)* – dit is de langst mogelijke tijdsduur van een activiteit. De activiteit vindt plaats onder de slechtst mogelijke omstandigheden. De duur van de activiteit heeft een kleine kans dat het deze waarde krijgt.

Met behulp van deze drie parameters kan de duur van een individuele activiteit worden geschat met de Bèta-verdeling. De formules hiervoor zijn:

$$\mu_{activiteit} = \text{verwachte tijdsduur activiteit} = \frac{(O+4W+P)}{6}, \text{ met}$$

$$\sigma_{activiteit} = \text{standaardafwijking} = \frac{(P - O)}{6}$$

#### 4. Het bepalen van het kritieke pad en daarmee de minimale doorlooptijden

Alle activiteiten met de juiste afhankelijkheden zijn vastgesteld en de duur van elke activiteit is berekend. Met deze gegevens kan het kritieke pad worden bepaald. Het kritieke pad is het pad met een verzameling opeenvolgende activiteiten die geen planningsruimte bevat. Een vertraging van een activiteit op het kritieke pad leidt tot een verlenging van de totale tijdsduur van het productieproces. Activiteiten die buiten het kritieke pad, binnen vast te stellen grenzen, versnellen of vertragen hebben geen invloed op de totale tijdsduur van het productieproces (Kerzner, 2003). Welke activiteiten op het kritieke pad liggen is te berekenen met een aantal formules die verder worden toegelicht in paragraaf 5.3 wanneer deze stap daadwerkelijk wordt uitgevoerd.

Wanneer de kritieke activiteiten van het productieproces zijn vastgesteld, kan de totale tijdsduur van het productieproces worden bepaald en wordt daarmee tegelijk de minimale doorlooptijd van het product bekend. Het bedrijf heeft namelijk minimaal deze tijd nodig om het product af te ronden. Met behulp van de volgende formules kan de totale tijdsduur van het productieproces (de minimale doorlooptijd) worden geschat met de normale verdeling (Larson & Grey, 2011):

$$\mu_{totaal} = \text{verwachte waarde totale tijdsduur productieproces}$$

$$= \text{Som van elke } \mu_{activiteit} \text{ op het kritieke pad}$$

$$\sigma_{totaal} = \text{standaardafwijking} = \text{Som van elke } \sigma_{activiteit} \text{ op het kritieke pad}$$

Deze formules die het PERT-model gebruikt kan alleen worden uitgevoerd wanneer de volgende aannames worden gemaakt:

- de tijdsduur van activiteiten binnen het productieproces zijn onafhankelijk van elkaar.
- er liggen voldoende activiteiten op het kritieke pad zodat de Centrale limietstelling kan worden toegepast en zodoende de totale tijdsduur van het productieproces kan worden benaderd met de normale verdeling (Rice, 1995).

## 5. Het bepalen van het kritieke levermoment

Aangezien na deze berekeningen de verwachte waarde ( $\mu_{\text{totaal}}$ ) samen met de standaardafwijking ( $\sigma_{\text{totaal}}$ ) van de totale tijdsduur van het productieproces van het BVS bekend zijn, kan met behulp van de eigenschappen van de normale verdeling allerlei kansen worden berekend. Voorbeeldvragen waar met behulp van deze gegevens op kan worden geantwoord zijn: Wat is de kans dat het BVS binnen x dagen is afgerond? Hoeveel tijd moet worden vrijgemaakt om met 99% zekerheid vast te kunnen stellen dat het BVS is afgerond?

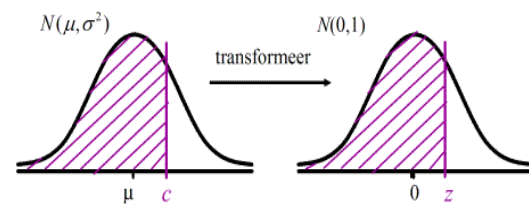
Deze vragen zijn zeer relevant voor het onderzoek aangezien met deze berekeningen kan worden bepaald op welk moment het SWOD moet binnenkomen om nog een tijdige levering van het BVS te kunnen garanderen: het kritieke levermoment van het SWOD.

Om te berekenen wat de kans is dat het BVS binnen een gespecificeerde tijd is afgerond kan gebruik gemaakt worden van de eigenschappen van een normale verdeling. Het BVS proces heeft een unieke  $\mu_{\text{totaal}}$  en  $\sigma_{\text{totaal}}$  die kan worden getransformeerd naar de standaard normale verdeling door het berekenen van de Z-waarde.

$$\text{De formule van de Z-waarde} = \frac{\text{Gespecificeerde tijd} - \mu_{\text{totaal}}}{\sigma_{\text{totaal}}}.$$

Met deze waarde kan door gebruik te maken van de standaard normale verdelingstabel de kans worden berekend dat het productieproces binnen de gespecificeerde tijd is afgerond (Larson & Grey, 2011).

De berekeningen van deze kansen wordt ter verduidelijking nog eens visueel weergegeven in figuur 5.1. Hierbij stelt de linker diagram de normale verdeling voor van de tijdsduur van het productieproces met de berekende  $\mu$  en  $\sigma$ . Het management is geïnteresseerd in de kans dat de productie binnen c dagen (gespecificeerde tijd) is afgerond.



**Figuur 5.1: Visuele weergave van de transformatie van de kansverdeling**

Om dit te kunnen berekenen zal deze normale verdeling moeten worden getransformeerd naar de standaard normale verdeling met  $\mu = 0$  en  $\sigma = 1$ . Dit kan door de Z-waarde te berekenen, waarmee vervolgens de standaard normale verdelingstabel kan worden gebruikt om de kans te berekenen dat het productieproces binnen de gespecificeerde tijd is afgerond (het paarse oppervlak onder de grafiek).

## 4. Huidige situatie: het BVS

Het onderzoek en het theoretische kader zijn gedefinieerd. In dit hoofdstuk wordt de huidige situatie betreft de oplevermomenten en doorlooptijden van het bedieningsvoorschrift (BVS) in kaart gebracht en wordt zodoende antwoord gegeven op sub-vragen twee en drie “*Waar liggen de huidige vastgestelde oplevermomenten van het BVS volgens procedures?*” en “*Waar liggen de oplevermomenten van het BVS in de praktijk?*”.

Dit hoofdstuk gaat de eerste stappen van het gehele onderzoek uitvoeren door de procedureel vastgestelde oplevermomenten en werkelijke doorlooptijden in kaart te brengen. Hiermee wordt een ijkpunt vastgelegd waarmee de minimale doorlooptijden, die in hoofdstuk 5 worden berekend, kunnen worden vergeleken. Zodoende kan de haalbaarheid en juistheid van de huidig vastgestelde oplevermomenten worden beoordeeld en wordt daarmee de hoofdvraag van dit onderzoek beantwoord.

De opbouw van dit hoofdstuk is op de volgende manier gestructureerd:

- Paragraaf 4.1:
  - o In deze paragraaf zal allereerst het proces en product BVS worden geïntroduceerd.
- Paragraaf 4.2:
  - o Vervolgens zal in deze paragraaf de oplevermomenten inzichtelijk worden gemaakt die door ProRail Asset Management zijn opgesteld: de huidige vastgestelde oplevermomenten.
- Paragraaf 4.3:
  - o In deze paragraaf zal een analyse worden gemaakt van de werkelijke oplevermomenten die onttrokken zijn uit de database van het planningssysteem van RIGD-LOXIA. Met deze gegevens kan vervolgens ook de mogelijke productietijden en werkelijke doorlooptijden worden berekend. Tenslotte zullen de berekeningen zullen worden geanalyseerd om hieruit conclusies te kunnen trekken.
- Paragraaf 4.4:
  - o Aan het einde van dit hoofdstuk zal in deze paragraaf het geheel worden samengevat en een verbindungsslag worden gemaakt naar hoofdstuk 5.

Aan het einde van dit hoofdstuk zijn zowel de procedureel vastgestelde oplevermomenten als de werkelijke doorlooptijden van het BVS bekend.

## 4.1 Introductie en procesverloop van het BVS

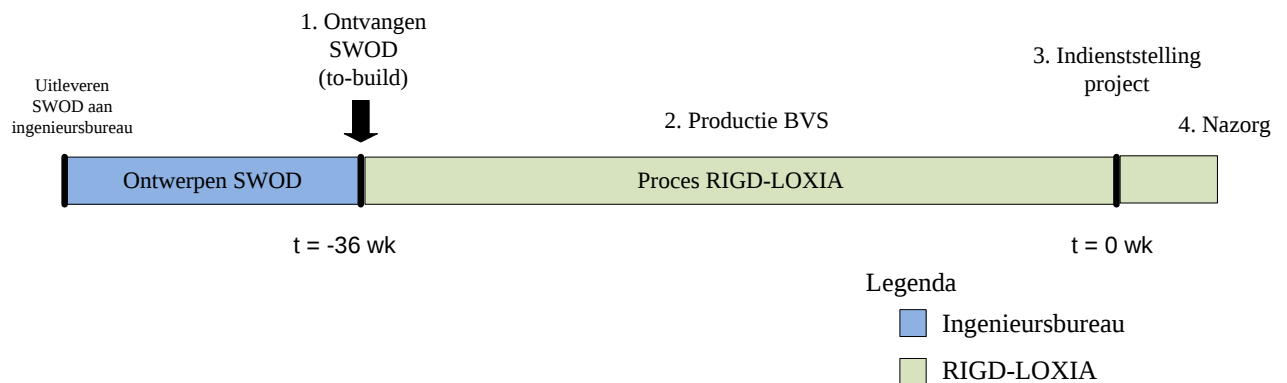
Het onderzoek richt zich op het proces en product van het Bedieningsvoorschriften voor Seinwezeninstallaties-document (hierna: BVS). Bedieningsvoorschriften zijn handleidingen bij besturingssystemen (POST21-systemen) voor treindienstleiders. Ze bevatten specifieke bedienprocedures. Deze informatie is zeer belangrijk en wanneer RIGD-LOXIA te laat een BVS aflevert aan treindienstleiders hebben ze onvoldoende tijd om zich voor te bereiden op wijzigingen en/of bijzonderheden van het nieuwe spoorproject. Om die reden is een tijdige oplevering van het product zeer belangrijk.

Zoals in hoofdstuk 1 is uitgelegd komt RIGD-LOXIA altijd in beeld bij rail-infrawijzigingen. Het hangt van de rail-infrawijziging af welke producten RIGD-LOXIA voor de gebruikers van infragegevens moet opleveren, dus niet elke rail-infrawijziging leidt tot het aanpassen en/of vernieuwen van het BVS. Het al dan niet produceren van het BVS wordt vooraf vastgesteld door de plancoördinator van RIGD-LOXIA. Indien het een bijzondere situatie betreft wordt de keuze door de plancoördinator van RIGD-LOXIA ter beoordeling voorgelegd aan de leden van het Change Implementation Board BVS (CIB BVS). Het CIB BVS heeft beslissingsbevoegdheid en is de vertegenwoordiging van de belangrijkste gebruikers, de producent en de beheerder van het BVS.

De productie van het BVS gebeurt op projectbasis, een rail-infrawijziging. Ook hier komt hetzelfde procesverloop naar voren die is geïntroduceerd in paragraaf 2.3. Het proces van het BVS is onder te verdelen in vier processtappen:

- Het ontvangen van het definitief SWOD (to-build) van het ingenieursbureau. Let wel dat het BVS bestaat uit meerdere SWOD's. Pas als alle SWOD's binnen zijn, kan het BVS worden afgerond.
- De productie van het BVS
- Indienstelling van het project (IDS). Deze datum staat vast en geldt als einddatum voor het gehele project. Wanneer dit niet wordt gehaald kan een escalatie worden ingezet. In dit geval wordt door hoger management besluiten genomen die bindend zijn voor de uitvoerende. Dit kan in het uiterste geval tot leiden dat het nieuwe spoorgedeelte niet in gebruik wordt genomen.
- Nazorg van het project. Na de indienstelling van het project wordt door een ingenieursbureau de nieuwe situatie geverifieerd en als er dan nog enige mutaties hebben plaatsgevonden zal dit worden verwerkt in het BVS. Op deze manier kan RIGD-LOXIA garanderen dat de nieuw gebouwde situatie buiten overeenkomt met de voorschriften die staan in het BVS.

Deze stappen worden tevens schematisch weergegeven in figuur 4.1:



Figuur 4.1: Vereenvoudigde schematische weergave van het procesverloop van het BVS

## Termen: to-build & as-built situatie

Het procesverloop is inzichtelijk gemaakt. Er rest nog één belangrijk onderdeel van het spoorwegjargon dat moet worden uitgelegd om het procesverloop goed te kunnen begrijpen, namelijk de termen: ‘to-build en as-built’. Aangezien het belangrijk is dat er onderscheid wordt gemaakt tussen de toekomstige infrasiituatie op tekeningen en systemen en de huidige infrasiituatie wordt er gebruik gemaakt van de termen ‘to-build en as-built’. Omdat ingenieursbureaus en RIGD-LOXIA in de meeste gevallen werken aan een infrasiituatie wat in de toekomst ligt, krijgen deze tekeningen en documenten de label ‘to-build’. Tekeningen en documenten die na de indienststellingsdatum worden opgeleverd krijgen de label ‘as-built’ en beschrijven de daadwerkelijke infrasiituatie buiten.

## BVS verschijningsvormen en gebruikersgroepen

Het BVS heeft vier verschijningsvormen: drie verschijningsvormen voor de indienststelling van het project en één erna. De vier verschijningsvormen hangen af van het moment dat ze moeten worden opgeleverd voor of na de indienststelling en bestaan uit (ProRail PRC00029, 2013):

1. Het **Concept** to-build BVS
  2. Het **Voorlopig** to-build BVS
  3. Het **Definitief** to-build BVS
- Indienststelling Project
4. Het **As-built** BVS

Allereerst moet het definitief to-build SWOD zijn afgeleverd door het ingenieursbureau zodat BVS-redacteuren kunnen starten met de productie. Let wel, dat voor sommige BVS-en meerdere SWOD's nodig zijn. De informatie wordt gaandeweg de indienststellingsdatum dichterbij komt steeds vollediger, vandaar ook de benaming Concept, Voorlopig en Definitief. De inhoud is ook afgestemd voor de gebruikersgroep. Zo wordt het Concept-BVS en Voorlopig-BVS veel gebruikt door aannemers en planners spooronderhoud van ProRail. Bij het Definitief-BVS en As-built BVS is de

voornaamste gebruikersgroep de Verkeersleiding, maar ook deze BVS-en worden gebruikt door de eerder genoemde gebruikersgroepen (Donkers, 2015).

## Benodigdheden voor productie

Ook de benodigdheden voor productie per verschijningsvorm van het BVS zijn belangrijk om de onderlinge relaties tussen processtappen te begrijpen en te bepalen vanaf welk moment RIGD-LOXIA daadwerkelijk kan beginnen met productie. Uit interviews met BVS managers van RIGD-LOXIA zijn de volgende benodigdheden per tussenproduct van het BVS vastgesteld (Schoorlemmer & Lammers, 2015):

- **Concept-BVS:** is afhankelijk van het definitief SWOD (to-build)
- **Voorlopig-BVS:** is afhankelijk van het definitief SWOD (to-build) en de POST21-configuratie ten behoeve van het BVS.
- **Definitief-BVS:** is afhankelijk van het definitief SWOD (to-build), de POST21-configuratie ten behoeve van het BVS en het gereviewde Voorlopig-BVS
- **As-built-BVS:** is afhankelijk van het definitief SWOD (as-built)

## Publicatie via RailDocs

De BVS-en (concept/voorlopig/definitief en as-built) worden na afronding door RIGD-LOXIA gepubliceerd op RailDocs. Dit is een online platform waar alle gebruikersgroepen te allen tijde de juiste versie van het documenten kunnen raadplegen. Op deze manier wordt door RIGD-LOXIA het versiebeheer geborgd. Dit is zeer belangrijk aangezien infraprojecten rond hetzelfde gebied, altijd op elkaar aansluiten en de huidige situatie (as-built) als basis geldt voor toekomstige nieuwe projecten.

## 4.2 Waar liggen de oplevermomenten volgens procedures?

Het BVS en de verschillende verschijningsvormen zijn geïntroduceerd. In deze paragraaf wordt subvraag drie beantwoord en daarmee worden de huidige vastgestelde oplevermomenten inzichtelijk gemaakt.

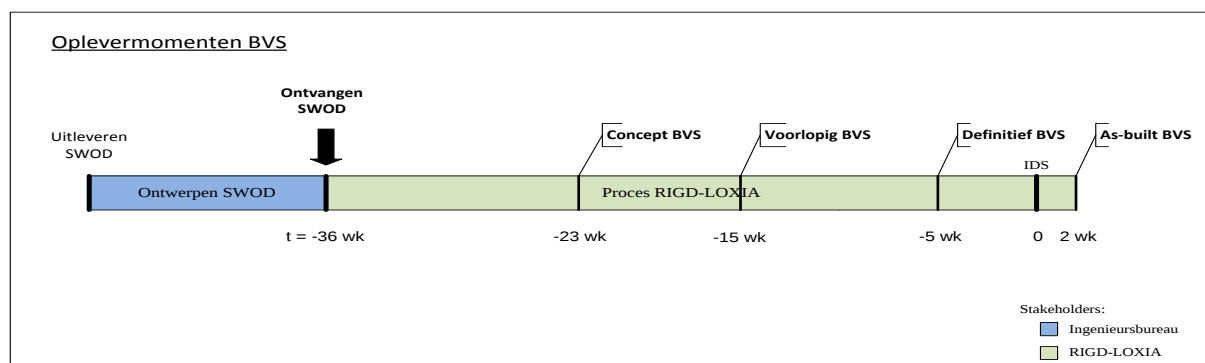
De huidige oplevermomenten zijn opgesteld door ProRail Asset Management in samenspraak met RIGD-LOXIA. Het document, PRC00029, met de naam 'Bedieningsvoorschriften voor Seinwezeninstallaties (BVS) maken, beheren en verspreiden' staat gepubliceerd op RailDocs en geldt als richtlijn voor alle partijen in deze keten. Het document bevat de beschrijving van het proces en de bijbehorende verantwoordelijkheden voor het maken, wijzigen, beheren en vertrekken van het BVS met als doel om tijdig de beschikking te hebben over toekomstige BVS-en (to-build) en te allen tijde actuele BVS-en (as-built) beschikbaar te hebben.

In PRC00029 staan vijf oplevermomenten opgesteld die in de meeste gevallen voor ieder project terugkomen. Dit zijn: de oplevering van het SWOD door het ingenieursbureau aan RIGD-LOXIA, de oplevering van het Concept BVS door RIGD-LOXIA aan de gebruikers via RailDocs, hetzelfde geldt voor het Voorlopig BVS, het Definitief BVS en tot slot het As-built BVS. Zoals eerder is vermeld staat de indienststeldingsdatum van het project vast. Om die reden worden alle oplevermomenten in relatie tot de indienststellingdatum ( $t=0$ ) opgesteld. De vijf vaste oplevermomenten volgens PRC00029 (2013) staan vermeld in tabel 4.1. Deze oplevermomenten staan ook geprogrammeerd in het planningsysteem van RIGD-LOXIA, Plandix genaamd. Ook hier wordt telkens vanaf de indienststellingsdatum teruggerekend om zo de oplevermomenten vast te leggen voor het ingenieursbureau (SWOD) en de BVS-opleveringen door RIGD-LOXIA zelf.

| Processtap               | Oplevermoment |
|--------------------------|---------------|
| Oplevering SWOD          | -36 weken     |
| Concept BVS              | -23 weken     |
| Voorlopig BVS            | -15 weken     |
| Definitief BVS           | -5 weken      |
| Indienststelling project | 0             |
| As-built BVS             | +2 weken      |

Tabel 4.1: Oplevermomenten processtappen volgens PRC00029

Deze vijf oplevermomenten zijn in figuur 4.2 ook geplaatst op een tijdlijn in de schematische weergave van het procesverloop.



Figuur 4.2: Oplevermomenten processtappen volgens PRC00029

## 4.3 Waar liggen de oplevermomenten in de praktijk?

In de vorige paragraaf is de tweede subvraag beantwoord en daarmee zijn de huidige vastgestelde oplevermomenten inzichtelijk gemaakt. Deze paragraaf gaat antwoord geven op subvraag drie: “*Waar liggen de oplevermomenten van het BVS in de praktijk?*”

Om op subvraag drie antwoord te kunnen geven is deze paragraaf op de volgende manier gestructureerd:

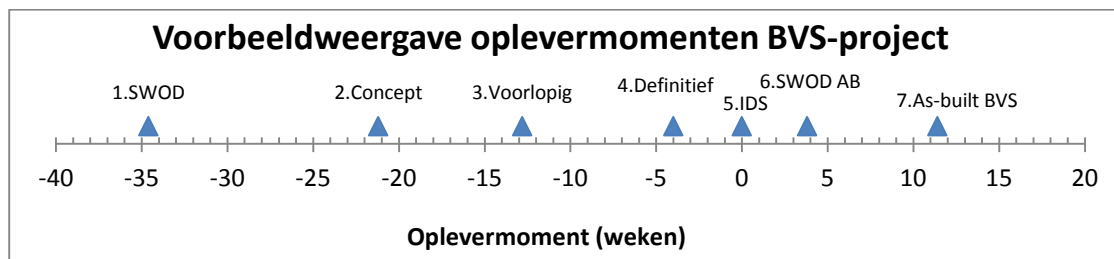
- Paragraaf 4.3.1:
  - o Allereerst wordt een introductie van de weergave en oplevermomenten van het BVS in de praktijk gegeven. Om de getallen en berekeningen goed te kunnen begrijpen is deze introductieparagraaf namelijk nodig.
- Paragraaf 4.3.2: De analyse van BVS oplevermomenten in de praktijk. Van het jaar 2014 zijn alle BVS oplevermomenten onttrokken van het planningssysteem van RIGD-LOXIA.
  - o Paragraaf 4.3.2.1:
    - Definitie van 3 projectsituaties. Aangezien de verschillen te groot zijn om alle BVS-en samen te voegen worden 3 projectsituaties gedefinieerd om een juist beeld te krijgen van de huidige situatie.
  - o Paragraaf 4.3.2.2:
    - Van elke projectsituatie worden vervolgens *de werkelijke oplevermomenten* berekend samen met *de mogelijke productietijden* die RIGD-LOXIA tot zijn beschikking had.
  - o Paragraaf 4.3.2.3:
    - Tenslotte worden *de werkelijke doorlooptijden* berekent en zal de spreiding hiervan worden gekwantificeerd. De mate van spreiding van doorlooptijden staat namelijk in relatie met de efficiëntie van het productieproces (De Laan, 1990). Zodoende kan een eerste indicatie van de prestaties van het productieproces worden gegeven.

### 4.3.1 Introductie oplevermomenten in de praktijk

Om achter de oplevermomenten in de praktijk te komen is het planningsysteem van RIGD-LOXIA, Plandix genaamd, geraadpleegd. Hieraan zit een database gekoppeld waar de werkelijke oplevermomenten van het SWOD en BVS zijn onttrokken. Om de getallen en diagrammen te kunnen begrijpen is het belangrijk te weten dat er telkens 7 momenten zijn die voor ieder normaal BVS-project terugkomen:

1. De datum waar het definitief **to-build SWOD** is ontvangen van het ingenieursbureau en de productie kan worden gestart.
2. De datum waar het **Concept BVS** is opgeleverd door RIGD-LOXIA op via RailDocs
3. De datum waar het **Voorlopig BVS** is opgeleverd door RIGD-LOXIA op via RailDocs
4. De datum waar het **Definitief BVS** is opgeleverd door RIGD-LOXIA op via RailDocs
5. De **indienststellingsdatum**, het ijkpunt  $t=0$  (**IDS**)
6. De datum waar het definitief **as-built SWOD** is ontvangen van ingenieursbureau.
7. De datum waar het **As-built BVS** is opgeleverd door RIGD-LOXIA via RailDocs.

Net zoals de procedureel vastgestelde oplevermomenten van paragraaf 4.2 zijn ook deze oplevermomenten in relatie tot de indienststelling ( $t=0$ ) in kaart gebracht. In figuur 4.3 ziet u een voorbeeld.



Figuur 4.3: Voorbeeldweergave van oplevermomenten van een volledig BVS-project

Deze oplevermomenten geven aan wanneer in theorie de productie zou kunnen starten wanneer het SWOD is ontvangen en wanneer RIGD-LOXIA een verschijningsvorm van het BVS (concept/voorlopig/definitief/as-built) heeft opgeleverd.

Let wel, dat deze gegevens niet aangeven wanneer de BVS-redacteuren daadwerkelijk zijn begonnen met de productie van het BVS. Deze gegevens zijn helaas niet geregistreerd in het planningsysteem. Deze gegevens geven voor het onderzoek daarentegen wel een indicatie van de hoeveelheid slack binnen het productieproces van het BVS wanneer in het volgende hoofdstuk de minimale doorlooptijden van de BVS productie via PERT inzichtelijk worden gemaakt.

Slack is een ander woord voor de hoeveelheid planningsruimte binnen het productieproces. Wanneer een productieproces veel slack en dus planningsruimte bevat, betekent dat het proces voldoende tijd

en capaciteit tot zijn beschikking heeft om hoge prestaties te kunnen verwachten. In dit geval; tijdige BVS-opleveringen. Wanneer een proces met voldoende slack geen tijdige BVS opleveringen kan realiseren, is dit een indicatie van een inefficiënte resourceplanning (Kovacs & Paganelli, 2003).

### 4.3.2 Analyse oplevermomenten in de praktijk

Elke verschijningsvorm en benaming van het oplevermoment van het BVS zijn in de vorige subparagraaf uiteengezet. Deze subparagraaf gaat de oplevermomenten in de praktijk daadwerkelijk analyseren en meten in hoeverre deze zich verhouden met de procedureel vastgestelde oplevermomenten.

Zoals in de introductie is uiteengezet worden allereerst drie projectsituaties gedefinieerd, waarnaar per projectsituatie de werkelijke oplevermomenten en mogelijke productietijden worden berekend. In het laatste onderdeel worden de werkelijke doorlooptijden berekend en de spreiding hiervan gekwantificeerd.

#### 4.3.2.1 Drie BVS projectsituaties

Voor de analyse van oplevermomenten in de praktijk zijn alle BVS-projecten van jaar 2014 geanalyseerd. Hiervoor is het planningssysteem van RIGD-LOXIA, Plandix genaamd, geraadpleegd (Plandix, 2015). Van deze BVS-projecten zijn de gemiddeldes van elk oplevermoment berekend in relatie tot de indienststellingsdatum (IDS). Tijdens de analyse werd duidelijk dat er onderscheid kan worden gemaakt tussen drie BVS-projectsituaties:

1. Een **Volledig BVS**: In deze situatie is iedere verschijningsvorm van het BVS opgeleverd. Dus het Concept, Voorlopig, Definitief en As-built BVS.
2. **Voorlopig/Definitief-BVS**: In deze situatie is alleen het Voorlopig, Definitief en As-built BVS opgeleverd.
3. **Alleen Definitief-BVS**: In deze situatie is alleen het Definitief en As-built BVS opgeleverd.

Deze drie projectsituaties ontstaan omdat niet ieder infraproject eist dat alle verschijningsvormen voor de gebruikersgroepen moeten worden opgeleverd. Tevens komt het voor dat het SWOD dusdanig te laat binnenkomt waardoor respectievelijk het Concept-BVS in situatie 2 en het Concept en Voorlopig-BVS in situatie 3 komen te vervallen. Het onderscheid maken tussen deze drie projectsituaties zorgt daarnaast voor een juist beeld van de werkelijke oplevermomenten, aangezien de gemiddeldes niet worden uitgevlakt.

### 4.3.2.2 Analyse Oplevermomenten

De drie projectsituaties zijn gedefinieerd, nu zullen de berekeningen van de werkelijke oplevermomenten en mogelijke productie tijden per projectsituatie volgen. Allereerst wordt dit gedaan voor situatie 1 met een **Volledig BVS**, waarnaar de situatie met **Voorlopig/Definitief BVS** volgt en tenslotte de **Alleen Definitief-BVS situatie**.

#### Projectsituatie 1: Volledig BVS

In deze projectsituatie is iedere verschijningsvorm van het BVS opgeleverd. De exacte opleverdatums van iedere oplevering zijn gemeten en in relatie gezet tot de indienststellingsdatum (IDS) van het project. De 7 momenten die zijn besproken uit paragraaf 4.3.1 komen hier weer terug. De berekeningen van de werkelijke oplevermomenten hebben geleid tot de waardes die staan in tabel 4.2 (Analyse BVS oplevermomenten, 2015). Er is tevens gekeken in hoeverre deze oplevermomenten in verhouding staan met de procedureel vastgestelde oplevermomenten. Alle waardes zijn in weken en een week bestaat uit 5 werkdagen.

| Oplevermoment<br>in relatie tot ids<br>(in weken) | Gemiddelde<br>werkelijke<br>oplevermomenten | Proceduceel<br>geëiste oplever-<br>momenten | Verskil |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|---------|
| 1. SWOD - IDS                                     | -25,82                                      | -36                                         | 10,18   |
| 2. Concept-BVS - IDS                              | -20,64                                      | -23                                         | 2,36    |
| 3, Voorlopig BVS - IDS                            | -12,87                                      | -15                                         | 2,13    |
| 4. Definitief BVS - IDS                           | -3,69                                       | -5                                          | 1,31    |
| 5, IDS                                            | 0                                           | 0                                           | -       |
| 6. IDS - As-built SWOD                            | 1,59                                        | 1                                           | 0,59    |
| 7. IDS - As-built BVS                             | 4,59                                        | 2                                           | 2,59    |

**Figuur 4.2: Gem. oplevermomenten van ieder tussenproduct van het BVS in relatie tot de indienststellingsdatum (ids) van projectsituatie 1**

De eerste waarde van de tabel geeft aan dat over alle BVS-projecten in 2014 waarbij ieder tussenproduct van het BVS is opgeleverd gemiddeld genomen het SWOD 25,82 weken voor de indienststelling van het project is binnengekomen bij RIGD-LOXIA. Het Concept-BVS is over dezelfde BVS-projecten gemiddeld genomen 20,64 weken voor de indienststellingsdatum opgeleverd door RIGD-LOXIA aan de gebruikersgroepen via RailDocs. Evenzo zijn de berekeningen uitgevoerd voor de overige waardes in de tabel.

Uit deze gegevens kunnen een aantal conclusies worden getrokken. Allereerst is te zien dat het SWOD ruim 10 weken later wordt ingeleverd door ingenieursbureaus dan wordt afgesproken. RIGD-LOXIA op zijn beurt levert de BVS-en 1,3 tot 2,3 weken later op dan volgens procedures wordt geëist. Het feit dat RIGD-LOXIA op dit moment van mening is dat het SWOD een grote oorzaak is voor het te laat opleveren van de BVS-en is een logische beredenering. De opgedane vertragingen worden namelijk op het eerste gezicht door RIGD-LOXIA beperkt. Echter moet deze beredenering

voor wel worden genuanceerd, want ondanks het feit dat ingenieursbureaus het SWOD te laat opleveren blijkt nogal wat mogelijke productietijd te zitten tussen het ontvangen van het SWOD en de oplevering van de BVS-producten. De mogelijke productietijd voor de BVS-opleveringen zal dus moeten worden berekend om dit te kunnen kwantificeren.

Om de mogelijke productietijden te kunnen berekenen is het allereerst van belang om de onderlinge relaties en afhankelijkheden tussen de verschijningsvormen van het BVS te weten. Deze staan in paragraaf 4.1 onder het kopje ‘benodigdheden voor productie’, maar worden hier ter verduidelijking herhaald:

- **Concept-BVS:** het definitief SWOD (to-build)
- **Voorlopig-BVS:** het definitief SWOD (to-build) en POST21-configuratie ten behoeve van het BVS.
- **Definitief-BVS:** het definitief SWOD (to-build), POST21-configuratie ten behoeve van het BVS en het gereviewde Voorlopig-BVS
- **As-built-BVS:** het definitief SWOD (as-built)

Met deze afhankelijkheden kan de mogelijke productietijd die RIGD-LOXIA beschikbaar had voor iedere verschijningsvorm van het BVS worden berekend. Door gebruik te maken van de gegevens uit tabel 4.2 zijn de berekeningen als volgt uitgevoerd:

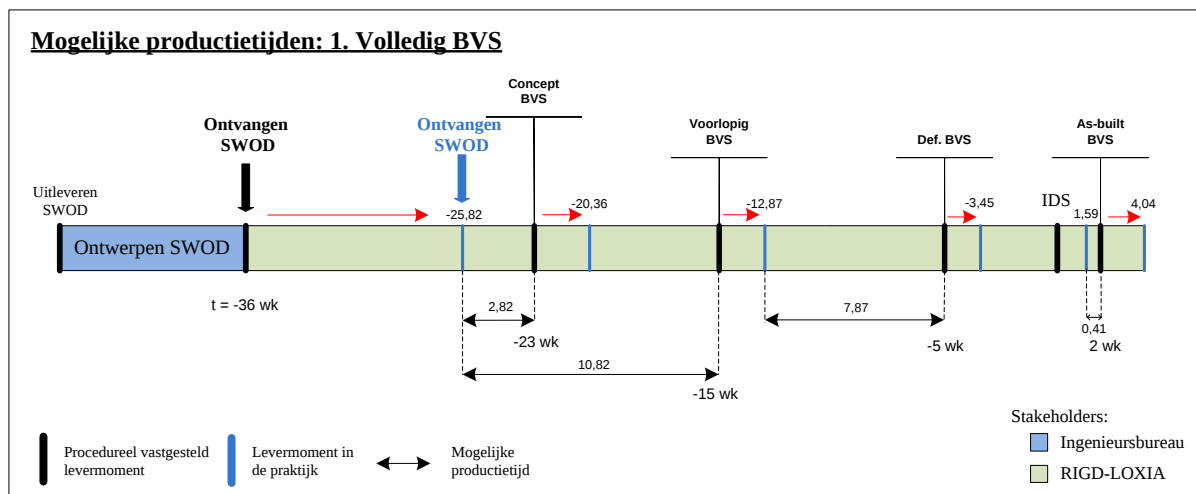
- **Concept-BVS** = Oplevermoment SWOD – procedureel vastgestelde oplevermoment Concept-BVS = 25,82-23 = 2,82 weken.
- **Voorlopig-BVS** = Oplevermoment SWOD – procedureel vastgestelde oplevermoment Voorlopig-BVS = 25,82-15=10,82 weken.
- **Definitief-BVS**= Oplevermoment Voorlopig-BVS – Procedureel vastgesteld oplevermoment Definitief-BVS = 12,87-5 = 7,87 weken.
- **As-built-BVS** = Procedureel vastgesteld levermoment As-Built BVS - Oplevermoment as-built SWOD = 2 – 1,59 = 0,41 weken.

| BVS tussenproduct     | Mogelijke productietijd (in weken) |
|-----------------------|------------------------------------|
| <b>Concept-BVS</b>    | 2,82                               |
| <b>Voorlopig-BVS</b>  | 10,82                              |
| <b>Definitief-BVS</b> | 7,87                               |
| <b>As-built BVS</b>   | 0,41                               |

**Tabel 4.3: Mogelijke productietijden BVS-tussenproducten van projectsituatie 1**

Het is belangrijk te vermelden dat de mogelijke productietijd voor het Voorlopig-BVS zal moeten worden vergeleken met de minimale doorlooptijd waarbij het productiegedeelte van de POST21 afdeling wordt meegerekend. Aangezien alleen op deze manier een eerlijke en juiste vergelijking kan worden gemaakt tussen de *minimale doorlooptijden* en *mogelijke productietijden*. Hetzelfde geldt voor de mogelijke productietijd van het Definitief-BVS. De waarde in tabel 4.3 zal moeten worden vergeleken met de minimale doorlooptijd waarbij ook de reviewperiode van ingenieursbureaus en verkeersleidingsposten wordt meegerekend.

Om overzicht te houden in alle oplevermomenten, mogelijke productietijden en procedureel vastgestelde oplevermomenten is van de berekeningen een schematische weergave gemaakt in figuur 4.4.



**Figuur 4.4: Schematische weergave van de mogelijke productietijden bij een Volledig BVS projectsituatie**

Volgens de cijfers en berekeningen uit tabel 4.3 lijkt het dat RIGD-LOXIA nog steeds voldoende productietijd overheeft om de verschillende BVS-producten tijdig te kunnen opleveren. Met name voor de productie van het Voorlopig en Definitief BVS blijkt, met respectievelijk 10,82 en 7,78 weken, veel tijd beschikbaar te zijn. De productie van het As-built BVS lijkt met minder dan een halve week wel te weinig productietijd beschikbaar te hebben om een tijdige oplevering te kunnen garanderen. In hoeverre dit waar zal zijn, moet blijken door deze gegevens te vergelijken met de minimale doorlooptijden van de BVS producten en beschikbare capaciteit aan BVS-redacteuren. Deze berekeningen worden gedaan in het volgende hoofdstuk door gebruik te maken van de PERT-methodiek.

## Projectsituatie 2: Voorlopig/Definitief-BVS

De berekeningen en inzichten zijn ook voor de tweede projectsituatie uitgevoerd. In deze projectsituatie zijn alleen het Voorlopig-BVS, Definitief-BVS en As-built-BVS opgeleverd. Ook hier zijn van iedere oplevering de exacte opleverdatums gemeten en in relatie gezet tot de indienststeldingsdatum (ids) van het project.

De berekeningen van de werkelijke oplevermomenten hebben geleid tot de waardes die staan in tabel 4.4 (Analyse BVS oplevermomenten, 2015). Er is tevens gekeken in hoeverre deze oplevermomenten in verhouding staan met de procedureel vastgestelde oplevermomenten. De benodigheden om de productie te starten van de tussenproducten van het BVS zijn hetzelfde en daarmee zijn in tabel 4.5 de mogelijke productietijden berekend. Alle waardes zijn in weken en een week bestaat uit 5 werkdagen.

| Oplevermoment<br>Van - tot ids (in weken) | Gemiddelde<br>werkelijke<br>oplevermomenten | Proceduueel<br>geëiste oplever-<br>momenten | Verskil<br>(in weken) |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------|
| <b>1. SWOD - IDS</b>                      | -16,24                                      | -36                                         | <b>19,76</b>          |
| <b>2. Concept-BVS - IDS</b>               | -                                           | -                                           | -                     |
| <b>3, Voorlopig BVS - IDS</b>             | -11,69                                      | -15                                         | <b>3,31</b>           |
| <b>4. Definitief BVS - IDS</b>            | -3,89                                       | -5                                          | <b>1,11</b>           |
| <b>5, IDS</b>                             | 0,00                                        | 0                                           | -                     |
| <b>6. IDS - As-built SWOD</b>             | 2,07                                        | 1                                           | <b>1,07</b>           |
| <b>7. IDS - As-built BVS</b>              | 4,87                                        | 2                                           | <b>2,87</b>           |

**Tabel 4.4: Gem. oplevermomenten van ieder tussenproduct van het BVS in relatie tot de indienststellingsdatum (ids) van projectsituatie 2**

| BVS tussenproduct     | Mogelijke<br>productietijd<br>(in weken) |
|-----------------------|------------------------------------------|
| <b>Voorlopig-BVS</b>  | 1,24                                     |
| <b>Definitief-BVS</b> | 6,69                                     |
| <b>As-built BVS</b>   | -                                        |

**Tabel 4.5: Mogelijke productie-tijden BVS-tussenproducten van projectsituatie 2**

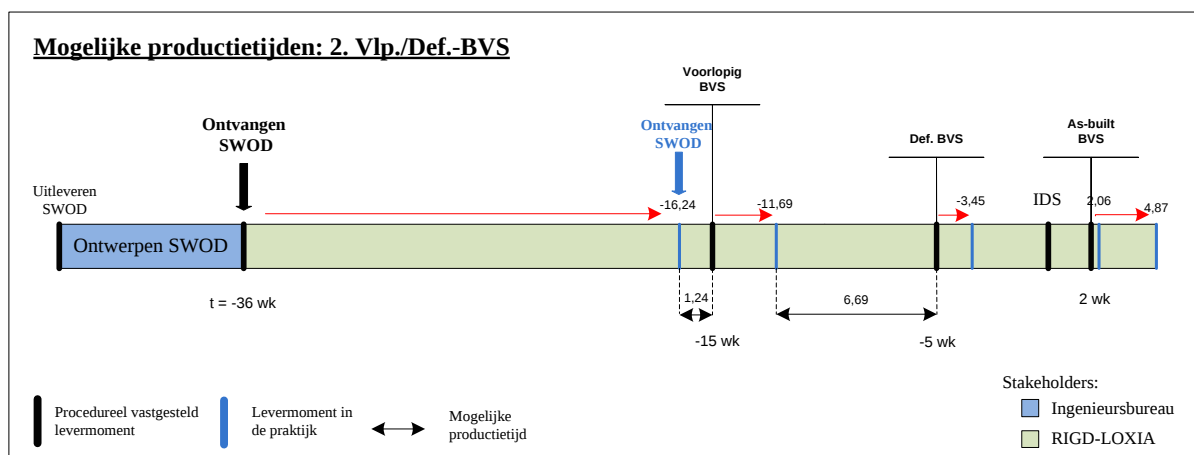
Ook in deze projectsituatie komt het SWOD veel te laat binnen en ook hier worden zowel het Voorlopig-BVS als het Definitief-BVS 1 tot 3 weken door RIGD-LOXIA later opgeleverd dan procedureel wordt geëist. In verhouding beperkt RIGD-LOXIA de opgedane vertraging van het SWOD, maar zijn deze verlate BVS opleveringen in deze projectsituatie terecht?

Het Voorlopig-BVS lijkt in deze situatie sowieso niet het procedureel vastgestelde levermoment van - 15 weken te kunnen halen. Dit vanwege het feit dat het SWOD pas 16,24 weken voor de indienststelling van het project binnenkomt en daarmee maar 1,24 weken productietijd overblijft om het Voorlopig-BVS te produceren. De minimale doorlooptijden zijn nog niet berekend, maar dit lijkt wel te weinig te zijn aangezien ook het POST21-gedeelte ten behoeve van het BVS moet worden geproduceerd.

Voor het Definitief-BVS is de gemiddelde mogelijke productietijd 6,69 weken om het procedureel vastgestelde oplevertermijn van -5 weken te halen. Dit lijkt ruim voldoende te zijn en aangezien RIGD-LOXIA het Definitief-BVS in deze projectsituatie nog steeds ruim 1 week te laat oplevert is daaruit af te leiden dat het productieproces veel planningsruimte (slack) bevat met een inefficiënte resourceplanning en productie te laat wordt opgestart (De Vaan, 1990).

RIGD-LOXIA had voor het As-built BVS gemiddeld gezien geen productietijd om het procedureel vastgestelde oplevermoment van 2 weken na de indienststelling te halen. Dit omdat RIGD-LOXIA het as-built SWOD pas 2 weken na indienststelling heeft ontvangen van het ingenieursbureau en dan nog zou moeten starten met de productie.

Om overzicht te houden in alle oplevermomenten, mogelijke productietijden en procedureel vastgestelde oplevermomenten is van de berekeningen een schematische weergave gemaakt in figuur 4.5.



**Figuur4.5: Schematische weergave van de mogelijke productietijden bij Voorlopig/Definitief projectsituatie**

### Projectsituatie 3: Alleen Definitief-BVS

Tenslotte zijn de berekeningen van gemiddelde oplevermomenten en mogelijke productietijden uitgevoerd over alle BVS-projecten van 2014 in projectsituatie 3: Alleen Definitief-BVS (Plandix, 2015). In deze projectsituatie komt het SWOD dusdanig te laat binnen dat het Concept-BVS en Voorlopig-BVS niet kunnen worden opgeleverd of dat de infrawijziging geen oplevering van deze BVS-en vereist.

De berekeningen van de werkelijke oplevermomenten in relatie tot de indienststellingsdatum hebben geleid tot de waarden die staan in tabel 4.6 (Analyse BVS oplevermomenten, 2015). In hoeverre deze oplevermomenten in verhouding staan met de procedureel vastgestelde oplevermomenten is ook berekend. De productie van het Definitief-BVS kan worden gestart wanneer het definitief to-build SWOD is binnengekomen en een review is uitgevoerd door de Verkeerleidingspost en ingenieursbureaus. Op deze manier kunnen de mogelijke productietijden worden berekend die staan in tabel 4.7. Alle waarden zijn in weken en een week bestaat uit 5 werkdagen.

| Oplevermoment<br>Van - tot ids (in weken) | Gemiddelde<br>werkelijke<br>oplevermomenten | Procedueel<br>geëiste oplever-<br>momenten | Vershil<br>(in weken) |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------|
| 1. SWOD - IDS                             | -7,74                                       | -36                                        | 28,26                 |
| 2. Concept-BVS - IDS                      | -                                           | -                                          | -                     |
| 3. Voorlopig BVS - IDS                    | -                                           | -                                          | -                     |
| 4. Definitief BVS - IDS                   | -2,94                                       | -5                                         | 2,06                  |
| 5. IDS                                    | 0,00                                        | 0                                          | -                     |
| 6. IDS - As-built SWOD                    | 3,06                                        | 1                                          | 2,06                  |
| 7. IDS - As-built BVS                     | 4,93                                        | 2                                          | 2,93                  |

**Tabel 4.6: Gem. oplevermomenten van ieder tussenproduct van het BVS in relatie tot de ids van projectsituatie 3**

| BVS tussenproduct | Mogelijke<br>productietijd<br>(in weken) |
|-------------------|------------------------------------------|
| Definitief-BVS    | 2,74                                     |
| As-built BVS      | -                                        |

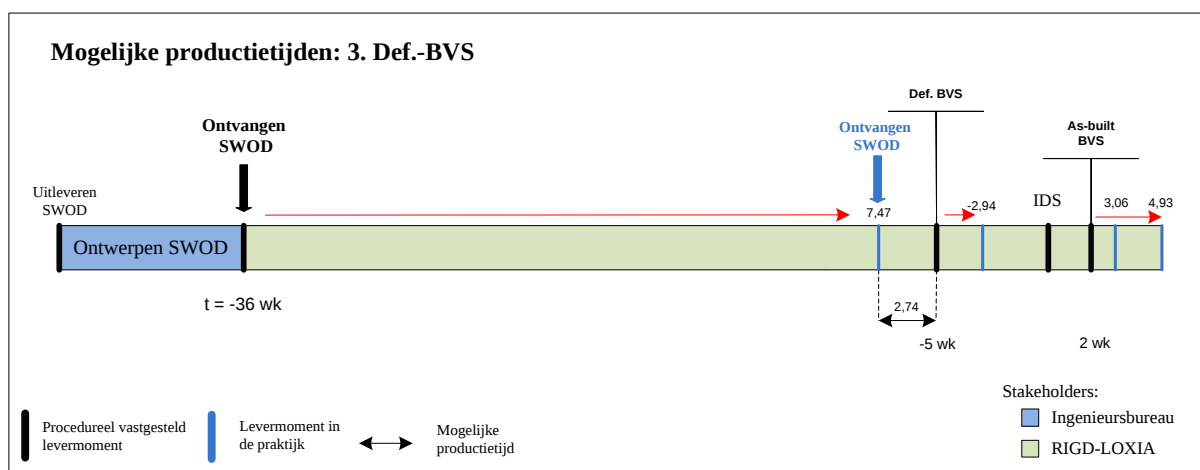
**Tabel 4.7: Mogelijke productietijden BVS-tussenproducten van projectsituatie 3**

In deze projectsituatie komt het definitief to-build SWOD gemiddeld gezien pas 7,74 weken voor de indienststellingsdatum bij RIGD-LOXIA binnen. Het Definitief-BVS wordt dan gemiddeld 2 weken later opgeleverd door RIGD-LOXIA dan procedureel wordt geëist.

Voor het Definitief-BVS blijft er maar 2,74 weken productietijd over om het oplevermoment van 5 weken voor de indienststelling te halen. Volgens officiële procedures zal in deze tijd ook nog reviews van de Verkeersleiding en ingenieurs moeten plaatsvinden. De minimale doorlooptijden moeten nog worden berekend, maar dit lijkt aan de krappe kant te zitten.

Het As-built BVS is in 2014 in deze projectsituatie 2,93 weken later opgeleverd dan procedureel wordt geëist. Dit lijkt ook niet anders te kunnen aangezien het as-built SWOD (moment 7) pas 3,06 weken na de indienststelling bij RIGD-LOXIA binnenkomt. Hierdoor is het onmogelijk om de procedureel vastgestelde levertermijn van 2 na de indienststelling te halen.

Om overzicht te houden in alle oplevermomenten, mogelijke productietijden en procedureel vastgestelde oplevermomenten is ook voor deze projectsituatie een schematische weergave van de berekeningen gemaakt in figuur 4.6.



**Figuur 4.6: Schematische weergave van de mogelijke productietijden bij Alleen Definitief-BVS projectsituatie**

### 4.3.2.3 Spreiding van doorlooptijden van het BVS

De procedureel vastgestelde levermomenten zijn samen met de oplevermomenten in de praktijk inzichtelijk gemaakt. Ook de tijdigheid van opleveringen en de mogelijke productietijden van het BVS zijn berekend. Deze paragraaf gaat dieper in op de grote spreiding tussen de doorlooptijden van BVS-projecten.

#### Relatie grote spreiding doorlooptijden en prestatie productieproces

Een grote spreiding van doorlooptijden voor hetzelfde tussenproduct, die te groot is om te kunnen worden verklaard door het verschil in projectgrootte, bewijst namelijk dat er optimalisatiemogelijkheden liggen in het productieproces en de resourceplanning (De Laan, 1990).

Grote spreiding van doorlooptijden betekent een groot verschil tussen de minimale en maximale doorlooptijd. Grote spreiding voor hetzelfde product onder dezelfde omstandigheden laat dus zien dat het mogelijk is om kortere doorlooptijden te behalen. De Laan (1990) benoemt verder dat het productieproces in deze situatie ook veel planningsruimte (slack) bevat, de resourceplanning niet optimaal is opgesteld (lage bezettingsgraad) en tenslotte dat het productieproces overvol zit met onderhandenwerk. In de praktijk leidt dit tot (te) lange en onvoorspelbare doorlooptijden, want er moet veel tijd worden gestoken in het prioriteren van projecten. Ook blijven projecten vaak, onbewust, in het productieproces hangen aangezien werknemers telkens van opdracht naar opdracht moeten wisselen. Het onderhandenwerk wordt groter en tegelijkertijd wordt het inzicht minder. Hierdoor raken bepaalde projecten in de vergetelheid en komt het in de praktijk op neer dat projecten te laat worden opgestart om nog tijdige leveringen te kunnen halen.

Voordat deze probleemrelaties in verband met het productieproces van RIGD-LOXIA kunnen worden gelegd, zal eerst bewezen moeten worden dat er een grote spreiding is tussen de doorlooptijden van het BVS proces. Om die reden wordt hier in deze paragraaf dieper op ingegaan.

Om deze spreiding te kwantificeren is er voor dit onderzoek gebruik gemaakt van twee methodes:

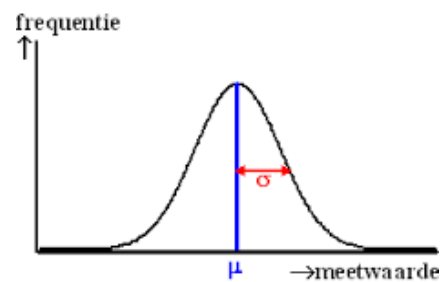
1. Standaardafwijking
2. Een diagram waar de spreiding tussen alle oplevermomenten in relatie tot de indienststellingsdatum visueel inzichtelijk wordt gemaakt.

#### 1. Standaardafwijking

De standaardafwijking geeft de mate van spreiding van getallen rondom het gemiddelde van deze getallen. Bij een getallenreeks is het belangrijk om na te gaan of de getallen dicht rondom het gemiddelde liggen of juist ver van het gemiddelde afliggen. De indicator die hiervoor wordt gebruikt is de standaardafwijking.

Bij een hogere spreiding is er dus sprake van dat alle getallen ver uit elkaar liggen. Bij een kleine spreiding liggen de getallen dichtbij elkaar. De standaardafwijking is gedefinieerd als de wortel uit de variantie en daardoor vergelijkbaar met de waarden van de variabelen zelf. Stel dat alle getallen in een reeks allemaal gelijk zijn, dan is de standaardafwijking 0.

Want er is geen spreiding van de getallen rondom het gemiddelde. Sterker nog, alle getallen zijn gelijk aan het gemiddelde. Hoe groter het verschil tussen het laagste en hoogste getal uit de reeks des te groter is de standaardafwijking (Bland & Altman, 1996). In figuur 4.7 is een grafische weergave gemaakt van de standaardafwijking.



**Figuur 4.7: Grafische weergave standaardafwijking**

De standaardafwijking is uit te drukken in een getal. Dit getal wordt meestal aangeduid met de Griekse letter sigma:  $\sigma$ .

De formule voor de schatter van standaardafwijking is:  $\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n-1}}$ , met

$\sigma_x$  = de standaardafwijking van getallenreeks x

$x_i$  = de waarde van getal i in de getallenreeks

$\mu$  = het gemiddelde van de getallenreeks (som getallen / aantal)

$n$  = het aantal getallen in de getallenreeks

Voor iedere projectsituatie afzonderlijk zijn de doorlooptijden berekend met de daarbij horende standaardafwijkingen. Doorlooptijden verschillen van de eerder berekende mogelijke productietijden aangezien daarbij rekening moet worden gehouden met de vaste grenzen van -23, -15 en -5 weken voor de tussenproducten van het BVS. Bij doorlooptijden van kan worden gekeken naar de tijd tussen het moment het SWOD is binnengekomen en wanneer een tussenproduct van het BVS daadwerkelijk is opgeleverd.

De berekeningen van de doorlooptijden van verschillende tussenproducten van het BVS zijn als volgt uitgevoerd:

- **Concept-BVS** = Oplevermoment SWOD – oplevermoment Concept-BVS
- **Voorlopig-BVS** = Oplevermoment SWOD – oplevermoment Voorlopig-BVS
- **Definitief-BVS** = Oplevermoment Voorlopig-BVS – oplevermoment Definitief-BVS
- **As-built-BVS** = Oplevermoment as-built BVS - oplevermoment as-built SWOD

Aangezien de verschillen per projectsituatie te groot zijn om de berekeningen over alle projecten samen te voegen, zijn ook hier de doorlooptijden per projectsituatie berekend om een juist beeld te krijgen van de doorlooptijden en daarbij horende standaardafwijkingen van het Concept, Voorlopig,

Definitief en As-built-BVS. Zodoende worden de gemiddeldes niet uitgevlakt. De waardes uit deze berekeningen staan weergegeven in tabel 4.8 t/m 4.11. Alle waardes zijn in weken en een week bestaat uit 5 werkdagen.

Let wel, dat het Concept-BVS alleen wordt opgeleverd bij een Volledig BVS in projectsituatie 1, het voorlopig-BVS wordt alleen opgeleverd in projectsituatie 1 en 2 en tenslotte worden het Definitief-BVS en As-built-BVS altijd opgeleverd, aangezien deze leveringen onafhankelijk zijn van het oplevermoment van het SWOD.

| Concept-BVS              | Gemiddelde doorlooptijd ( $\mu$ ) | Standaard afwijking ( $\sigma$ ) |
|--------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| <b>Projectsituatie 1</b> | 5,19                              | 6,94                             |

**Tabel 4.8: Gemiddelde doorlooptijd en standaardafwijking Concept-BVS**

| Definitief-BVS           | Gemiddelde doorlooptijd ( $\mu$ ) | Standaard afwijking ( $\sigma$ ) |
|--------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| <b>Projectsituatie 1</b> | 9,18                              | 1,52                             |
| <b>Projectsituatie 2</b> | 7,80                              | 1,69                             |
| <b>Projectsituatie 3</b> | 4,80                              | 3,80                             |

**Tabel 4.10: Gemiddelde doorlooptijden en standaardafwijking Definitief-BVS**

| Voorlopig-BVS            | Gemiddelde doorlooptijd ( $\mu$ ) | Standaard afwijking ( $\sigma$ ) |
|--------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| <b>Projectsituatie 1</b> | 12,95                             | 7,10                             |
| <b>Projectsituatie 2</b> | 4,55                              | 1,84                             |

**Tabel 4.9: Gemiddelde doorlooptijden en standaardafwijking Voorlopig-BVS**

| As-built-BVS             | Gemiddelde doorlooptijd ( $\mu$ ) | Standaard afwijking ( $\sigma$ ) |
|--------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| <b>Projectsituatie 1</b> | 3,00                              | 2,23                             |
| <b>Projectsituatie 2</b> | 2,80                              | 3,23                             |
| <b>Projectsituatie 3</b> | 1,87                              | 3,05                             |

**Tabel 4.11: Gemiddelde doorlooptijden en standaardafwijking As-built-BVS**

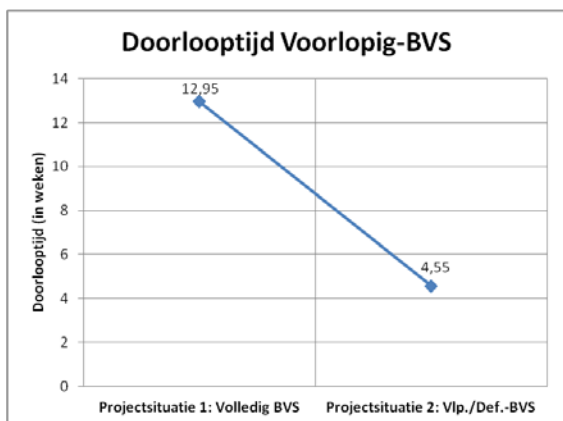
Uit deze vier tabellen zijn een aantal zaken af te leiden. Allereerst is in tabel 4.8 een hoge standaardafwijking te zien bij het Concept-BVS in projectsituatie 1. Een standaardafwijking voor doorlooptijden in de industrie wordt als hoog bestempeld wanneer de standaardafwijking groter is dan het helft van het gemiddelde (Walker, 1931). Het verschil tussen het laagste en hoogste getal van de doorlooptijden van het Concept-BVS is groot. Te groot om dat te kunnen verklaren met het verschil in projectgrootte van het BVS. Dit impliceert dat de doorlooptijden van het Concept-BVS veel korter zouden kunnen zijn dan op dit moment door het productieproces wordt gehaald. Toch is het Concept-BVS in projectsituatie 1 gemiddeld twee weken te laat opgeleverd. Hieruit valt te concluderen dat het Concept-BVS in deze projectsituatie, gemiddeld gezien, te laat is opgestart om tijdige leveringen te kunnen halen (De Laan, 1990).

De doorlooptijden van het Voorlopig-BVS uit tabel 4.9 laat ook een grote spreiding zien. Dit is af te leiden uit twee waarnemingen. Allereerst is de standaardafwijking met een waarde van 7,1 weken voor het Voorlopig-BVS in projectsituatie 1 hoog. Net zoals is uitgelegd bij het Concept-BVS impliceert dit dat het productieproces in projectsituatie 1 ook voor het Voorlopig-BVS veel planningsruimte (slack) bevat en dat de doorlooptijden van het Voorlopig-BVS korter kunnen dan op dit moment wordt gerealiseerd. Dit wordt ondersteunt door de tweede waarneming, namelijk dat de

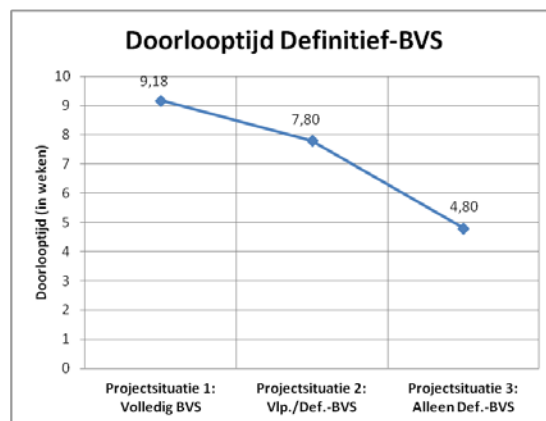
doorlooptijden van het Voorlopig-BVS in projectsituatie 2 (4,55 weken) veel korter zijn van projectsituatie 1 (12,95 weken). Het blijkt dus dat wanneer het SWOD veel later bij RIGD-LOXIA binnenkomt de productie van het Voorlopig-BVS eerder wordt opgepakt en zodoende veel kortere doorlooptijden heeft. In projectsituatie 2 komt het SWOD veel later binnen bij RIGD-LOXIA. De mogelijke productietijden van het Voorlopig-BVS zijn hierdoor veel korter. De lage waarde van de standaardafwijking van het Voorlopig-BVS in projectsituatie 2 bewijst het feit dat in projectsituatie 2 RIGD-LOXIA veel minder planningsruimte (slack) heeft.

De spreiding van de doorlooptijden van het Definitief-BVS is net zoals het Concept-BVS en Voorlopig-BVS hoog. Dit is niet direct af te leiden door te kijken naar de standaardafwijkingen per projectsituatie afzonderlijk. Deze waarden zijn namelijk laag. Een lage waarde voor de standaardafwijking per projectsituatie bewijst niet gelijk dat het Definitief-BVS geen planningsruimte bevat en dat doorlooptijden niet korter zouden kunnen. De waarden laten wel zien dat per projectsituatie het productieproces zich hetzelfde heeft gedragen. RIGD-LOXIA heeft, gemiddeld gezien, in een bepaalde projectsituatie telkens een constante hoeveelheid tijd genomen om te produceren. Bijvoorbeeld, RIGD-LOXIA heeft in projectsituatie 1 waar het SWOD ver voor de indienststellingdatum wordt geleverd, gemiddeld gezien, 9,18 weken tijd genomen om het Definitief-BVS op te leveren met een standaardafwijking van 1,52 weken. De standaardafwijking laat in projectsituatie 1 dus niet zien dat bijvoorbeeld een doorlooptijd van 5 weken voor het Definitief-BVS is gerealiseerd.

Toch kan uit deze cijfers worden afgeleid dat de spreiding van doorlooptijden van het Definitief-BVS hoog is en daarmee bewijst dat het productieproces voor het Definitief-BVS planningsruimte (slack) bevat, optimalisatiemogelijkheden zijn en daardoor kortere doorlooptijden kunnen worden gerealiseerd. Hiervoor moet worden gekeken naar het verschil in doorlooptijden per projectsituatie. Het verschil tussen de doorlooptijden van het Definitief-BVS in projectsituatie 1 met 9,18 weken en projectsituatie 3 met 4,80 weken is groot. Uit deze cijfers is niet alleen af te leiden dat doorlooptijden van het Definitief-BVS in projectsituatie 1 en 2 korter kunnen, maar ook dat RIGD-LOXIA het project eerder opstart wanneer het SWOD later binnenkomt. In de gedefinieerde projectsituaties 1 tot en met 3 wordt het SWOD namelijk steeds later opgeleverd aan RIGD-LOXIA. Deze interessante relatie tussen de doorlooptijden van het Voorlopig-BVS en Definitief-BVS en het oplevermoment van het SWOD is in figuur 4.9 en 4.10 visueel weergegeven.



**Figuur 4.9: Relatie doorlooptijd Voorlopig-BVS en oplevermoment SWOD**



**Figuur 4.10: Relatie doorlooptijd Definitief-BVS en oplevermoment SWOD**

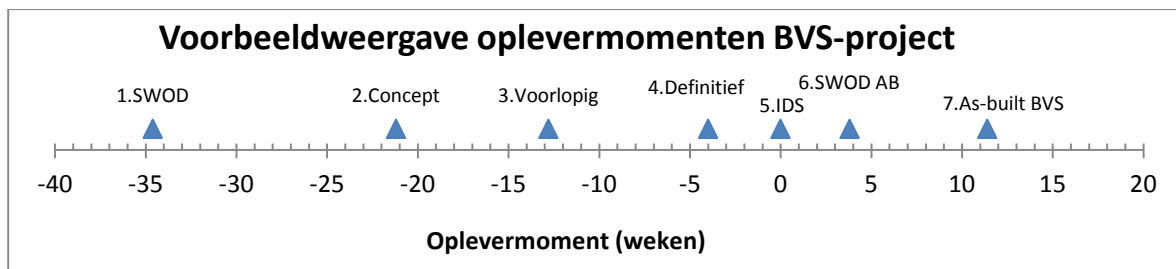
In projectsituatie 1, Volledig-BVS, wordt het SWOD gemiddeld 25,82 weken voor de indienststelling opgeleverd, in projectsituatie 2 16,24 weken en in projectsituatie 3 pas 7,74 weken voor de indienststelling. Door deze gegevens te combineren is af te leiden dat doorlooptijden van het Voorlopig-BVS en Definitief-BVS in de huidige situatie korter worden naarmate het SWOD later wordt geleverd aan RIGD-LOXIA. Het bewijst ook dat kortere doorlooptijden van het Voorlopig-BVS en Definitief-BVS mogelijk zijn en dat de productie hiervan in zowel projectsituatie 1 en 2 te laat worden opgestart.

De standaardafwijkingen van doorlooptijden van het As-built-BVS laat in relatie met het gemiddelde een hoge spreiding zien. Ook wordt de doorlooptijd korter naarmate het SWOD later binnenkomt bij RIGD-LOXIA. Optimalisatiemogelijkheden van het productieproces van het As-built BVS lijken mogelijk te zijn (De Laan, 1990). Wat ook af te leiden is uit deze cijfers is dat de gemiddelde doorlooptijd van het produceren van het As-built-BVS ligt tussen 1,87 en 3 weken terwijl de officiële procedure RIGD-LOXIA maar 1 week productietijd voorschrijft om het As-built-BVS te kunnen opleveren (PRC00029, 2013). Het lijkt erop dat RIGD-LOXIA te weinig tijd krijgt om een tijdige oplevering van het As-built-BVS te garanderen.

## 2. Visuele weergave spreiding doorlooptijden

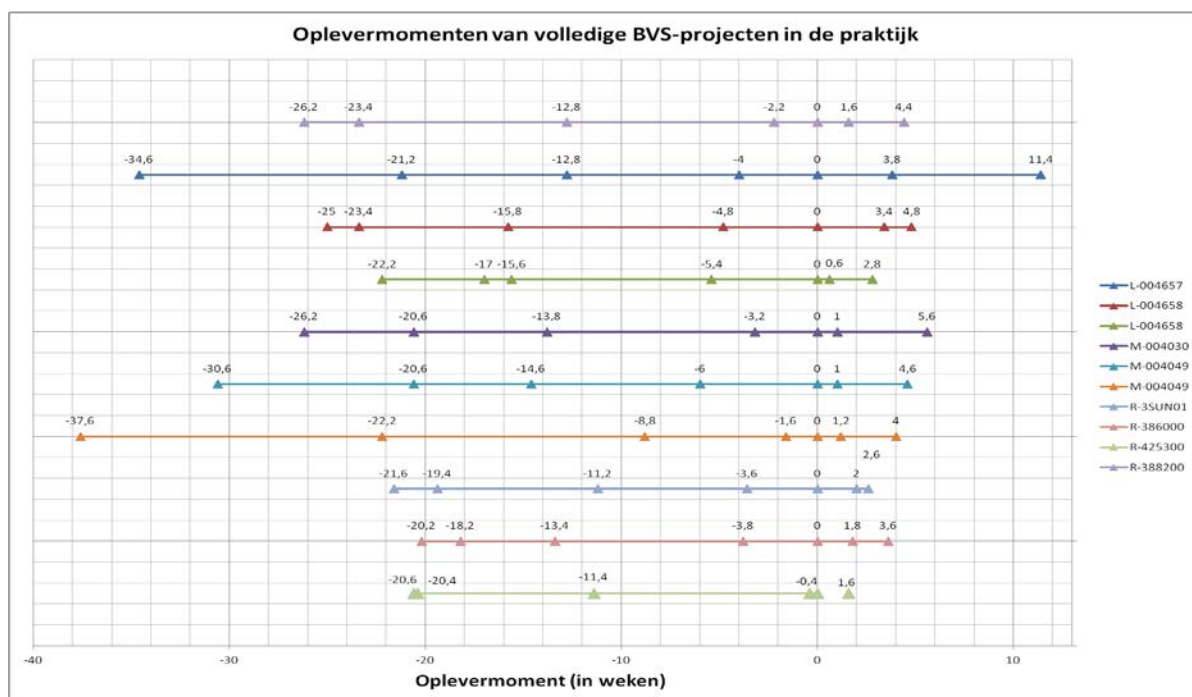
Naast de standaardafwijking die is gebruikt om de hoge spreiding van doorlooptijden te kwantificeren is ook een visuele weergave gemaakt van alle oplevermomenten van tien Volledige BVS-en in projectsituatie 1.

De 7 momenten die zijn gedefinieerd aan het begin van dit hoofdstuk komen hier specifiek terug: het SWOD, Concept-BVS, Voorlopig-BVS, Definitief-BVS, Indienststelling, As-built SWOD en tenslotte As-built-BVS. De oplevermomenten zijn in relatie tot de indienststellingsdatum ( $t=0$ ) op een tijdlijn in kaart gebracht. In figuur 4.11 is een voorbeeldweergave te zien:



**Figuur 4.11: Voorbeeldweergave oplevermomenten BVS-project in projectsituatie 1**

In figuur 4.12 zijn van tien Volledige BVS-en uit 2014 in projectsituatie 1 alle oplevermomenten in kaart gebracht. Iedere horizontale lijn stelt één BVS-project voor en bevat 7 punten. Deze 7 punten komen overeen met de hierboven genoemde momenten.



**Figuur 4.12: Diagram van alle oplevermomenten van tien volledige BVS-projecten uit 2014**

Zoals te zien is bevestigd deze visuele weergave van oplevermomenten de grote spreiding in de doorlooptijden van de tussenproducten van het BVS. Met deze visuele weergave is daarmee ook de hoge standaardafwijkingen die zijn berekend bij projectsituatie 1 te verklaren. Om een voorbeeld te geven: het verschil tussen de doorlooptijden van het Concept-BVS van BVS-project 1 (lijn 1) en BVS-project 2 (lijn 2) is groot. Dit kun je zien door te kijken naar het verschil in lengte tussen het eerste en tweede punt van lijn 1 en 2. Tenslotte benadrukt deze visuele weergave wederom het feit dat door deze hoge spreiding van doorlooptijden van het BVS er optimalisatiemogelijkheden zijn voor het productieproces.

## 4.4 Samenvatting en conclusie

Dit hoofdstuk heeft antwoord gegeven op subvragen drie en vier “Waar liggen de huidige vastgestelde oplevermomenten van het BVS volgens procedures?” en “Waar liggen de oplevermomenten van het BVS in de praktijk?”

Met deze gegevens is allereerst de tijdigheid van zowel de SWOD opleveringen door ingenieurs als de BVS opleveringen door RIGD-LOXIA gemeten. Vervolgens zijn met deze gegevens ook de productietijden berekend die RIGD-LOXIA tot zijn beschikking had om het BVS tijdig op te leveren (mogelijke productietijden). Tenslotte zijn de werkelijke doorlooptijden van het BVS samen met de spreiding hiervan berekend. Deze variabelen zijn zeer interessant aangezien hiermee de huidige procedureel vastgestelde oplevermomenten kunnen worden onderzocht, maar ook inzicht geven in de prestaties van zowel het productieproces als de resourceplanning (Kovacs & Paganelli, 2003). Details over deze inzichten worden in het navolgende toegelicht.

De procedureel vastgestelde oplevermomenten zijn onttrokken uit procedure 29 van ProRail en staan weergegeven in tabel 4.13.

Voor de berekeningen van de oplevermomenten in de praktijk is onderscheid gemaakt tussen 3 projectsituaties. Bij iedere projectsituatie is het SWOD later opgeleverd waardoor sommige BVS opleveringen komen te vervallen:

1. **Volledig BVS:** concept, voorlopig, definitief en as-built-BVS
2. **Voorlopig/Definitief BVS:** voorlopig, definitief en as-built-BVS
3. **Alleen Definitief-BVS:** definitief en as-built-BVS

| Processtap               | Oplevermoment |
|--------------------------|---------------|
| Oplevering SWOD          | -36 weken     |
| Concept BVS              | -23 weken     |
| Voorlopig BVS            | -15 weken     |
| Definitief BVS           | -5 weken      |
| Indienststelling project | 0             |
| As-built BVS             | +2 weken      |

Tabel 4.13: Procedureel vastgestelde oplevermomenten

### Tijdigheid SWOD en BVS-en

Na analyse van de werkelijke oplevermomenten kan allereerst worden geconcludeerd dat het SWOD te laat wordt aangeleverd bij RIGD-LOXIA door ingenieursbureaus en dat RIGD-LOXIA te laat haar BVS producten oplevert. Dit geldt voor iedere projectsituatie.

### Metingen mogelijke productietijden

Door de werkelijke oplevermomenten te combineren met procedureel vastgestelde oplevermomenten zijn voor ieder tussenproduct van het BVS in iedere projectsituatie de mogelijke productietijden berekend. Dus hoeveel tijd had RIGD-LOXIA gemiddeld gezien tot zijn beschikking om een tijdige levering te garanderen? De berekeningen geven een eerste indicatie in hoeverre RIGD-LOXIA voldoende tijd had om een tijdige levering van het BVS te garanderen.

Uit deze berekeningen lijkt tot dusver, dat RIGD-LOXIA voor de productie van het Concept, Voorlopig en Definitief-BVS in projectsituatie 1 voldoende tijd tot zijn beschikking had voor een tijdige levering van het BVS. Het As-built-BVS daarentegen niet, aangezien het As-built SWOD te laat binnenkomt om het procedureel vastgestelde levertermijn van 2 weken te kunnen halen. In projectsituatie 2 lijkt er onvoldoende productietijd beschikbaar te zijn voor een tijdige oplevering van het Voorlopig-BVS. Het SWOD in projectsituatie 2 lijkt daarentegen wel op tijd te komen om het Definitief-BVS tijdig op te leveren. In projectsituatie 2 is ook onvoldoende tijd beschikbaar om het As-built-BVS op tijd te leveren. Tenslotte lijkt dat RIGD-LOXIA in projectsituatie 3, waar alleen het Definitief-BVS kan worden opgeleverd, onvoldoende mogelijke productietijd beschikbaar had om tijdige leveringen te garanderen voor zowel het Definitief-BVS als As-built-BVS.

Om daadwerkelijk te kunnen beoordelen in hoeverre RIGD-LOXIA voldoende tijd tot zijn beschikking had om tijdige opleveringen te garanderen, zal in hoofdstuk 5 de minimale doorlooptijden van het BVS worden berekend. Dit wordt uitgevoerd door gebruik te maken van de PERT methodiek. De waardes van mogelijke productietijden uit dit hoofdstuk zijn daarentegen wel een indicatie dat RIGD-LOXIA voornamelijk in projectsituatie 1 en 2 voldoende productietijd lijkt te hebben en optimalisatiemogelijkheden bestaan voor het productieproces. De hoge spreiding van doorlooptijden die is gekwantificeerd in het laatste onderdeel van dit hoofdstuk onderbouwd deze relatie.

### Hoge spreiding doorlooptijden

Uit de kwantificering van de spreiding van doorlooptijden is gebleken dat ieder tussenproduct van het BVS: Concept, Voorlopig, Definitief en As-built BVS een hoge spreiding laat zien. Een hoge spreiding voor hetzelfde product onder dezelfde omstandigheden impliceert optimalisatiemogelijkheden (De Laan, 1990). De doorlooptijden kunnen korter dan in de huidige situatie wordt gerealiseerd. Deze hoge spreiding heeft tevens inzichtelijk gemaakt dat de productie van het Concept-BVS, Voorlopig-BVS en Definitief-BVS in projectsituatie 1 en 2 te laat wordt opgestart. Tenslotte is aan de spreiding van de doorlooptijden van het As-built-BVS is te zien dat de doorlooptijden korter kunnen, echter lijkt het wel dat RIGD-LOXIA te weinig tijd krijgt om een tijdige oplevering van het As-built-BVS te garanderen.

### Volgende stap, de PERT-methodiek

Concluderend zijn de volgende variabelen van ieder tussenproduct van het BVS vastgesteld:

- De procedureel vastgestelde levermomenten
- De werkelijke oplevermomenten
- De mogelijke productietijden
- De werkelijke doorlooptijden en spreiding van de doorlooptijden

De volgende stap is om de berekeningen van de minimale doorlooptijden uit te voeren. Zodoende kan namelijk de haalbaarheid van de procedureel vastgestelde oplevermomenten worden beoordeeld en zijn de prestaties van het productieproces te kwantificeren (slack). Deze berekeningen worden gedaan door gebruik te maken van de PERT-methodiek in het volgende hoofdstuk.



## 5. Toepassen theorie: PERT-methodiek

De huidige procedureel vastgestelde levermomenten zijn samen met de werkelijke oplevermomenten inzichtelijk gemaakt. Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden en daarmee inzicht te krijgen in de haalbaarheid en juistheid van de huidige vastgestelde oplevermomenten zullen de minimale doorlooptijden moeten worden berekend. In dit hoofdstuk worden deze berekeningen uitgevoerd aangezien hiermee ook het kritieke levermoment van een SWOD kan worden bepaald.

Het hoofdstuk is op de volgende manier gestructureerd:

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op subvraag vier : *Waar ligt het kritieke levermoment van een SWOD-levering om een tijdige oplevering van het BVS te kunnen garanderen?*

Om hierop antwoord te kunnen geven wordt gebruik gemaakt van de PERT-methodiek. De PERT-methodiek bestaat uit verschillende stappen die als rode draad gelden voor dit hoofdstuk. Het hoofdstuk is onderverdeeld in vijf paragrafen:

- Paragraaf 5.1:
  - o In deze paragraaf worden de stappen van de PERT-methodiek kort herhaald ter verduidelijking van de structuur van dit hoofdstuk.
- Paragraaf 5.2:
  - o In deze paragraaf zullen de eerste stappen van de PERT-methodiek worden uitgevoerd. De juiste opeenvolging van de processtappen van het BVS wordt samen met de duur vastgelegd en zal ook een netwerkdiagram worden opgesteld.
- Paragraaf 5.3:
  - o In deze paragraaf worden de vervolgstappen van de PERT-methodiek uitgevoerd. De minimale doorlooptijden van het BVS zal samen met het kritieke pad worden berekend.
- Paragraaf 5.4:
  - o In deze paragraaf zal met behulp van de gegevens uit de vorige paragrafen de laatste stap van de PERT-methodiek worden uitgevoerd om zodoende het kritieke levermoment van het SWOD te berekenen.
- Paragraaf 5.5:
  - o In deze paragraaf zal het geheel worden samengevat en een verbindingsslag worden gemaakt naar hoofdstuk 6.

Aan het einde van dit hoofdstuk zijn de minimale doorlooptijden van het BVS samen met het kritieke levermoment van het SWOD inzichtelijk.

## 5.1 De PERT-methodiek

Om de minimale doorlooptijden van het BVS en het kritieke levermoment van het SWOD te kunnen bepalen wordt gebruikt gemaakt van de PERT-methodiek. In hoofdstuk 3 is theorie achter elke stap uitgebreid toegelicht. Deze paragraaf herhaalt de stappen van de PERT-methodiek ter verduidelijking van de structuur van dit hoofdstuk. De PERT-methodiek valt onder te verdelen in 5 stappen:

1. Het productieproces van het BVS onderverdelen in activiteiten en de juiste opeenvolging hiervan bepalen.
2. Het opstellen van een netwerkdiagram
3. Het bepalen van de verwachte tijdsduur van elke activiteit
  - *Deze stappen worden uitgevoerd in paragraaf 5.2*
4. Het kritieke pad berekenen en daarmee de minimale doorlooptijd van het BVS berekenen
  - *Deze stap wordt uitgevoerd in paragraaf 5.3*
5. Het bepalen van het kritieke levermoment van het SWOD
  - *Tenslotte wordt deze stap uitgevoerd in paragraaf 5.4*

## 5.2 Processtappen en tijdsduur van het BVS

In deze paragraaf wordt ieder tussenproduct van het BVS het productieproces opgesplitst in activiteiten. Ook de tijdsduur en afhankelijkheden van iedere activiteit wordt vastgesteld. Tenslotte wordt van elk BVS tussenproduct een netwerkdiagram getekend. Met deze handelingen wordt in deze paragraaf de eerste drie stappen van de PERT-methodiek uitgevoerd.

Registraties van de tijdsduur van afzonderlijke activiteiten van het productieproces van het BVS zijn tot dusver nooit vastgelegd. Er is echter een goeie schatting gemaakt van deze waarden. Deze informatie is namelijk verkregen met behulp van interviews met enkele ervaren BVS-redacteuren (Donkers & Schoorlemmer, 2015).

Een schatting van de verwachte tijdsduur en standaardafwijking van een individuele activiteit kan worden gemaakt met de Bèta-verdeling. Zoals in het stappenplan van de PERT-methodiek is uitgelegd zijn hiervoor waarden nodig van drie parameters: de optimistische waarde (O), de waarschijnlijke waarde (W) en de pessimistische waarde (P).

Door gebruik te maken van de onderstaande formules is de tijdsduur van een individuele activiteit met de daarbij horende standaardafwijking geschat:

$$\mu_{activiteit} = \text{verwachte tijdsduur activiteit} = \frac{(O + 4W + P)}{6}, \text{ met}$$

$$\sigma_{activiteit} = \text{standaardafwijking} = \frac{(P - O)}{6}$$

Deze berekeningen worden samen met het ontwerp van een netwerkdiagram uitgevoerd voor ieder tussenproduct van het BVS: het Concept-BVS, Voolopig-BVS, Definitief-BVS en tenslotte het As-built-BVS.

### 5.2.1 Concept-BVS

De productie van het Concept-BVS is een generiek proces. Het totale productieproces van het Concept-BVS van de inname van het SWOD tot en met de oplevering het Concept-BVS op RailDocs is op te splitsten in zes activiteiten (Donkers & Schoorlemmer, 2015).

De waarden van de drie parameters, optimistische (O), waarschijnlijke (W) en pessimistische (P) tijdsduur van de gedefinieerde activiteiten staan in tabel 5.1 samen met de berekende verwachte tijdsduur ( $\mu$ ) en standaardafwijking ( $\sigma$ ). In de derde kolom staan ook de afhankelijkheden tussen de activiteiten van het Concept-BVS. Alle waarden in de tabel zijn uitgedrukt in dagen en een dag bestaat uit 8 uur.

| BVS-Concept |                                    | (In dagen) |        |       |        |       |          |
|-------------|------------------------------------|------------|--------|-------|--------|-------|----------|
| Activiteit  | Beschrijving                       | Afh. van   | O      | W     | P      | $\mu$ | $\sigma$ |
| 1           | Innemen SWOD door Loket            | -          | 0,375  | 2     | 4      | 2,06  | 0,60     |
| 2           | Kickoff project + SIL dossier      | 1          | 0,032  | 0,125 | 0,1875 | 0,12  | 0,03     |
| 3           | Inrichten werkbankomgeving         | 2          | 0,25   | 0,5   | 0,75   | 0,50  | 0,08     |
| 4           | Ontwerpen Concept BVS              | 3          | 0,75   | 1     | 2,25   | 1,17  | 0,25     |
| 5           | Oplevering Condept BVS aan loket   | 4          | 0,0625 | 0,125 | 0,25   | 0,14  | 0,03     |
| 6           | Distributie Concept BVS door loket | 5          | 0,375  | 2     | 3      | 1,90  | 0,44     |

Tabel 5.1: Processtappen en tijdsduur van individuele activiteiten van het Concept-BVS

Tenslotte is ook netwerk diagram getekend van het Concept-BVS, wat wordt weergegeven in figuur 5.2. Hieraan is duidelijk te zien dat het een sequentieel proces betreft.



Figuur5.2: Netwerkdigram van het Concept-BVS

## 5.2.2 Voorlopig-BVS

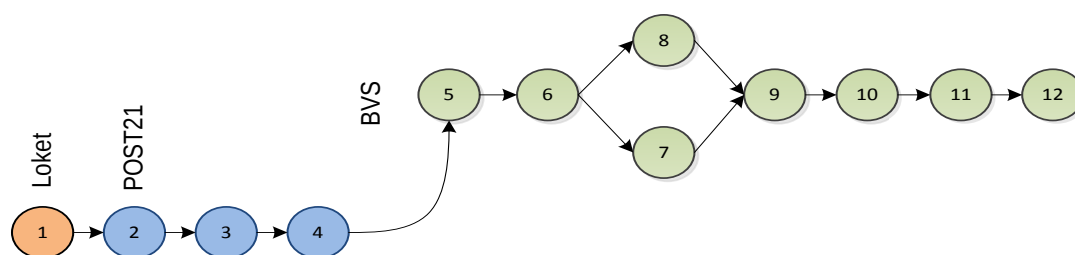
Ook voor het Voorlopig-BVS zijn deze berekeningen uitgevoerd. De productie van het Voorlopig-BVS is een generiek proces. Het totale productieproces van het Voorlopig-BVS is op te splitsen in twaalf activiteiten (Donkers & Schoorlemmer, 2015). De productie van het Voorlopig-BVS kan net zoals bij het Concept-BVS worden gestart wanneer het SWOD is ingenomen door het loket van RIGD-LOXIA. Voor het Voorlopig-BVS zijn daarnaast ook activiteiten op de POST21-afdeling noodzakelijk om te kunnen starten met productie. Deze activiteiten hebben invloed op de minimale doorlooptijd van het Voorlopig-BVS en worden daarom meegenomen in de berekeningen.

De waarden van de drie parameters, optimistische (O), waarschijnlijke (W) en pessimistische (P) tijdsduur van de gedefinieerde activiteiten staan in tabel 5.2 samen met de berekende verwachte tijdsduur ( $\mu$ ) en standaardafwijking ( $\sigma$ ). In de derde kolom staan wederom de afhankelijkheden tussen activiteiten van het Voorlopig-BVS. Alle waarden in de tabel zijn uitgedrukt in dagen en een dag bestaat uit 8 uur.

| BVS-Voorlopig |                                               | (In dagen) |        |       |      |       |          |
|---------------|-----------------------------------------------|------------|--------|-------|------|-------|----------|
| Activiteit    | Beschrijving                                  | Afh. van   | O      | W     | P    | $\mu$ | $\sigma$ |
| 1             | Innemen SWOD door Loket                       | -          | 0,375  | 2     | 4    | 2,06  | 0,60     |
| 2             | Configureren POST21 tbv. BVS                  | 1          | 5      | 9,375 | 15   | 9,58  | 1,67     |
| 3             | Call configuratie                             | 2          | 0,5    | 1     | 1,5  | 1,00  | 0,17     |
| 4             | Test configuratie                             | 3          | 0,75   | 1     | 2,5  | 1,21  | 0,29     |
| 5             | Inlezen POST21 input voor BVS                 | 4          | 0,032  | 0,25  | 0,5  | 0,26  | 0,08     |
| 6             | Creëren basis voor Voorlopig BVS + integreren | 5          | 0,125  | 0,5   | 0,75 | 0,48  | 0,10     |
| 7             | Genereren tekstdelen Voorlopig BVS            | 6          | 0,5    | 2     | 5    | 2,25  | 0,75     |
| 8             | Genereren tekeningen Voorlopig BVS            | 6          | 0,25   | 0,5   | 3    | 0,88  | 0,46     |
| 9             | Interne review Voorlopig BVS                  | 7;8        | 0,5    | 2     | 5    | 2,25  | 0,75     |
| 10            | Verwerken interne Review                      | 9          | 0,0625 | 0,5   | 1    | 0,51  | 0,16     |
| 11            | Oplevering Voorlopig BVS aan loket            | 10         | 0,0625 | 0,125 | 0,5  | 0,18  | 0,07     |
| 12            | Distributie Voorlopig BVS door loket          | 11         | 0,375  | 2     | 4    | 2,06  | 0,60     |

Tabel 5.2: Processtappen en tijdsduur van individuele activiteiten van het Voorlopig-BVS

Uit deze tabel is te zien dat de productie van het POST21gedeelte (activiteiten 2 t/m 3) een groot deel van de totale doorlooptijd van het Voorlopig-BVS omvat. Verder is af te lezen dat de productie van het tekstgedeelte en de tekening van het BVS parallel kunnen worden uitgevoerd. Van het Voorlopig-BVS is ook een netwerkdiagram getekend wat wordt weergegeven in figuur 5.3.



Figuur 5.3: Netwerkdiagram van het Voorlopig-BVS

### 5.2.3 Definitief-BVS

De productie van het Definitief-BVS is een generiek proces. Het totale productieproces van het Definitief-BVS is op te splitsen in elf activiteiten (Donkers & Schoorlemmer, 2015). De productie van het Definitief-BVS kan worden gestart wanneer het Voorlopig-BVS is gereviewd door de verkeersleiding en het ingenieursbureau en activiteiten op de POST21-afdeling ten behoeve van het BVS zijn uitgevoerd.

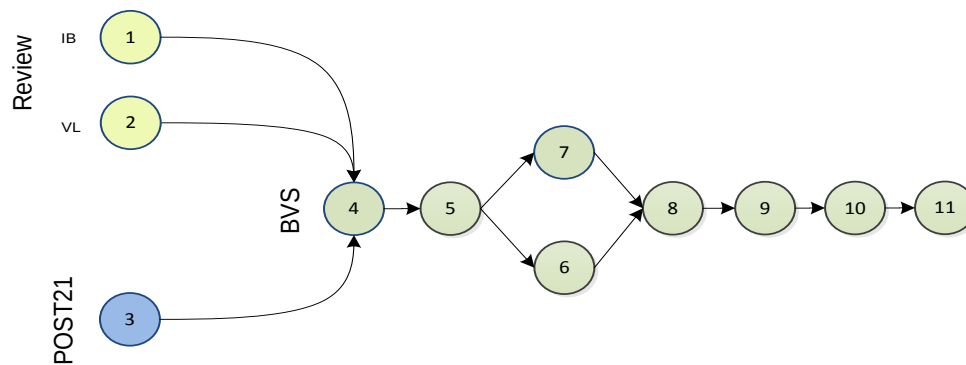
Om een juist beeld te krijgen van de minimale doorlooptijd van het Definitief-BVS wordt de reviewperiode meegenomen bij de berekeningen van de doorlooptijd. Een gereviewd document is immers een procedureel vereiste (PRC00029, 2013) en heeft invloed op de doorlooptijd van het Definitief-BVS.

De waarden van de drie parameters, optimistische (O), waarschijnlijke (W) en pessimistische (P) tijdsduur van de gedefinieerde activiteiten staan in tabel 5.3 samen met de berekende verwachte tijdsduur ( $\mu$ ) en standaardafwijking ( $\sigma$ ). In de derde kolom van de tabel staan ook de afhankelijkheden tussen activiteiten van het Definitief-BVS. Alle waarden in de tabel zijn uitgedrukt in dagen en een dag bestaat uit 8 uur.

| BVS-Definitief |                                                | (In dagen) |        |       |     |       |          |
|----------------|------------------------------------------------|------------|--------|-------|-----|-------|----------|
| Activiteit     | Beschrijving                                   | Afh. van   | O      | W     | P   | $\mu$ | $\sigma$ |
| 1              | Review door Verkeersleiding                    | -          | 2      | 10    | 40  | 13,67 | 6,33     |
| 2              | Review door Ingenieursbureau                   | -          | 2      | 10    | 40  | 13,67 | 6,33     |
| 3              | Configureren/integreren POST21 tbv. BVS        | -          | 5      | 6,25  | 7,5 | 6,25  | 0,42     |
| 4              | Inlezen POST21 input voor BVS                  | 1;2;3      | 0,032  | 0,25  | 0,5 | 0,26  | 0,08     |
| 5              | Creëren basis voor definitief BVS + integreren | 4          | 0,125  | 0,5   | 1   | 0,52  | 0,15     |
| 6              | Genereren tekstdelen Definitief BVS            | 5          | 0,5    | 2     | 3   | 1,92  | 0,42     |
| 7              | Genereren tekeningen Definitief BVS            | 5          | 0,25   | 1     | 3   | 1,21  | 0,46     |
| 8              | Interne review Definitief BVS                  | 6;7        | 0,5    | 2     | 4   | 2,08  | 0,58     |
| 9              | Verwerken interne review Definitief BVS        | 8          | 0,0625 | 0,5   | 1   | 0,51  | 0,16     |
| 10             | Oplevering Definitief BVS aan loket            | 9          | 0,0625 | 0,125 | 0,5 | 0,18  | 0,07     |
| 11             | Distributie Definitief BVS door loket          | 10         | 0,375  | 2     | 4   | 2,06  | 0,60     |

**Figuur 5.3: Processtappen en tijdsduur van individuele activiteiten van het Voorlopig-BVS**

Uit deze tabel is te zien dat de reviewperiode lang duurt en veel invloed heeft op de minimale doorlooptijd van het Definitief-BVS. Verder is de productie van het POST21-gedeelte niet afhankelijk van de review van het Voorlopig-BVS, dit is ook goed te zien in het netwerkdiagram van het Definitief-BVS wat wordt weergegeven in figuur 5.4. IB staat voor ingenieursbureaus en VL staat voor verkeersleiding.



Tabel 5.4: Netwerkdigram van het Definitief-BVS

### 5.2.4. As-built-BVS

Het laatste tussenproduct van het BVS is het As-built-BVS. De productie van het As-built-BVS is een generiek proces. Het totale productieproces is op te splitsen in negen activiteiten (Donkers & Schoorlemmer, 2015). De productie van het As-built-BVS vindt altijd plaats na de indienststelling van het project en kan pas worden gestart wanneer het ingenieursbureau het As-build SWOD heeft opgeleverd aan RIGD-LOXIA.

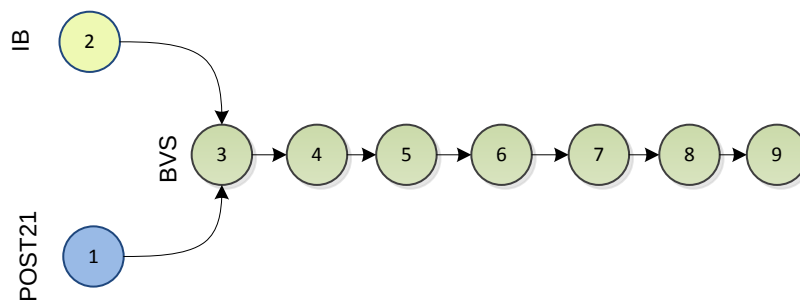
De waarden van de drie parameters, optimistische (O), waarschijnlijke (W) en pessimistische (P) tijdsduur van de gedefinieerde activiteiten staan in tabel 5.4 samen met de berekende verwachte tijdsduur ( $\mu$ ) en standaardafwijking ( $\sigma$ ). In de derde kolom van de tabel staan ook de afhankelijkheden tussen activiteiten van het As-build-BVS. Alle waarden in de tabel zijn uitgedrukt in dagen en een dag bestaat uit 8 uur.

| As-Built-BVS |                                     | (In dagen) |        |       |     |       |          |
|--------------|-------------------------------------|------------|--------|-------|-----|-------|----------|
| Activiteit   | Beschrijving                        | Afh. van   | O      | W     | P   | $\mu$ | $\sigma$ |
| 1            | POST21 nazorgperiode                | -          | 1      | 3     | 5   | 3,00  | 0,67     |
| 2            | Ontwerpen AB-SWOD door IB           | -          | 3      | 5     | 20  | 7,17  | 2,83     |
| 3            | Innemen SWOD door loket             | 1;2        | 0,5    | 2     | 3   | 1,92  | 0,42     |
| 4            | To-built/As-build BVS maken         | 3          | 0,5    | 2     | 5   | 2,25  | 0,75     |
| 5            | Integraties verwerken (eventueel)   | 4          | 0      | 0,5   | 1   | 0,50  | 0,17     |
| 6            | AFCA's verwerken (eventueel)        | 5          | 0      | 1,5   | 5   | 1,83  | 0,83     |
| 7            | Interne review As-build BVS         | 6          | 0,5    | 1     | 2   | 1,08  | 0,25     |
| 8            | Oplevering As-build BVS aan loket   | 7          | 0,0625 | 0,125 | 0,5 | 0,18  | 0,07     |
| 9            | Distributie As-build BVS door loket | 8          | 0,375  | 2     | 4   | 2,06  | 0,60     |

Tabel 5.4: Processtappen en tijdsduur van individuele activiteiten van het As-built-BVS

Uit de tabel is af te lezen dat het ontwerp van het As-build SWOD tussen de 3 en 20 dagen kan duren, terwijl het vastgestelde oplevermoment op 1 week na de indienststelling ligt, hierdoor houdt RIGD-LOXIA zelfs bij de berekeningen van de minimale doorlooptijd weinig productietijd over om het oplevermoment van +2 weken na de indienststelling te halen. Verder blijkt de productietijd het As-built-BVS erg variabel te zijn en hangt de doorlooptijd zeer veel af van het aantal integraties dat moet

worden uitgevoerd (Donkers & Schoorlemmer, 2015). Van het As-built-BVS is tenslotte ook een netwerkdiagram getekend wat wordt weergegeven in figuur 5.5. IB staat voor ingenieursbureaus.



Figuur 5.5: Netwerkdiagram van het As-built-BVS

### 5.3 Kritieke pad en minimale doorlooptijden

In de vorige paragraaf zijn de eerste drie stappen van de PERT-methodiek uitgevoerd voor ieder tussenproduct van het BVS. De volgende stap in de PERT-methodiek zijn de berekeningen van het kritieke pad en de minimale doorlooptijden van het BVS en worden in deze paragraaf uitgevoerd.

Het kritieke pad is het pad met een verzameling opeenvolgende activiteiten die geen planningsruimte bevat. Een vertraging van een activiteit op het kritieke pad leidt tot een verlenging van de totale tijdsduur van het productieproces. Activiteiten die buiten het kritieke pad, binnen vast te stellen grenzen, versnellen of vertragen hebben geen invloed op de totale tijdsduur van het productieproces. Deze activiteiten bevatten planningsruimte, ook wel slack genoemd (Kerzner, 2003). Om het kritische pad van een productieproces te kunnen bepalen zal voor iedere individuele activiteit de volgende parameters moeten worden berekend:

- *Earliest start time (ES)*: het vroegste moment dat de activiteit kan worden gestart. Hiermee moet rekening worden gehouden met de afhankelijkheden tussen activiteiten.
- *Earliest finish time (EF)*: het vroegste moment dat de activiteit is afgerond. Dit komt overeen met het vroegste startmoment (ES) plus de tijd die nodig is om de activiteit te voltooien.
- *Latest finish time (LF)*: is het moment waarop de activiteit uiterlijk moet zijn voltooid zonder het productieproces te vertragen.
- *Latest start time (LS)*: is het laatste startmoment van de activiteit zonder dat de activiteit het productieproces vertraagd.

Planningsruimte ofwel slack is de tijd dat een activiteit in het productieproces kan worden vertraagd totdat deze activiteit invloed heeft op de tijdsduur van het gehele productieproces. Slack kan worden

berekend door het verschil te berekenen tussen het laatste startmoment (LS) en vroegste startmoment (ES) van een activiteit:

$$Slack_{activiteit} = LS - ES$$

Het kritieke pad is vervolgens te bepalen met alle opeenvolgende activiteiten die geen slack bevatten.

Met behulp de volgende formules kan vervolgens de totale tijdsduur van het productieproces (de minimale doorlooptijd) worden geschat met de normale verdeling, onder de aannames die zijn genoemd in paragraaf 5.1 (Larson & Grey, 2011):

$$\mu_{totaal} = \text{Som van elke } \mu_{activiteit} \text{ op het kritieke pad}$$

$$\sigma_{totaal} = \text{Som van elke } \sigma_{activiteit} \text{ op het kritieke pad}$$

Deze berekeningen worden voor ieder tussenproduct van het BVS uitgevoerd: Concept, Voorlopig, Definitief en As-Built-BVS:

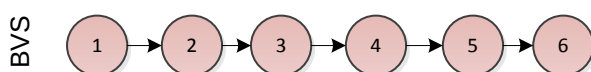
### 5.3.1. Concept BVS

De processtappen, afhankelijkheden en tijdsduur van het Concept-BVS zijn berekend in de vorige paragraaf. De berekeningen van de vier parameters ES, EF, LS en LF van iedere activiteit worden hieraan toegevoegd om zodoende de hoeveelheid slack en het kritische pad van het proces te kunnen bepalen. In tabel 5.5 worden deze waarden weergegeven. Alle waarden in de tabel zijn uitgedrukt in dagen en een dag bestaat uit 8 uur.

| Concept-BVS |                                    | (In dagen)      |                          |                                  |      |      |      |      |       |
|-------------|------------------------------------|-----------------|--------------------------|----------------------------------|------|------|------|------|-------|
| Activiteit  | Beschrijving                       | Afhankelijk van | Verwachte duur ( $\mu$ ) | Standaard afwijking ( $\sigma$ ) | ES   | EF   | LS   | LF   | Slack |
| 1           | Innemen SWOD door Loket            | -               | 2,06                     | 0,60                             | 0,00 | 2,06 | 0,00 | 2,06 | 0     |
| 2           | Kickoff project + SIL dossier      | 1               | 0,12                     | 0,03                             | 2,06 | 2,18 | 2,06 | 2,18 | 0     |
| 3           | Inrichten werkbankomgeving         | 2               | 0,50                     | 0,08                             | 2,18 | 2,68 | 2,18 | 2,68 | 0     |
| 4           | Ontwerpen Concept BVS              | 3               | 1,17                     | 0,25                             | 2,68 | 3,85 | 2,68 | 3,85 | 0     |
| 5           | Oplevering Concept BVS aan loket   | 4               | 0,14                     | 0,03                             | 3,85 | 3,98 | 3,85 | 3,98 | 0     |
| 6           | Distributie Concept BVS door loket | 5               | 1,90                     | 0,44                             | 3,98 | 5,88 | 3,98 | 5,88 | 0     |

Tabel 5.5: kritieke pad en slack berekeningen van het productieproces van het Concept-BVS

Uit deze tabel is te zien dat niet één activiteit slack bevat. Dit is logisch aangezien het Concept-BVS een sequentieel proces betreft. Iedere activiteit bevindt zich op het kritieke pad en iedere activiteit draagt bij aan de totale doorlooptijd van het Concept-BVS. In figuur 5.6 is het kritieke pad met een rode kleur ook visueel weergegeven in een netwerkdiagram:



Figuur 5.6: Kritieke pad Concept-BVS

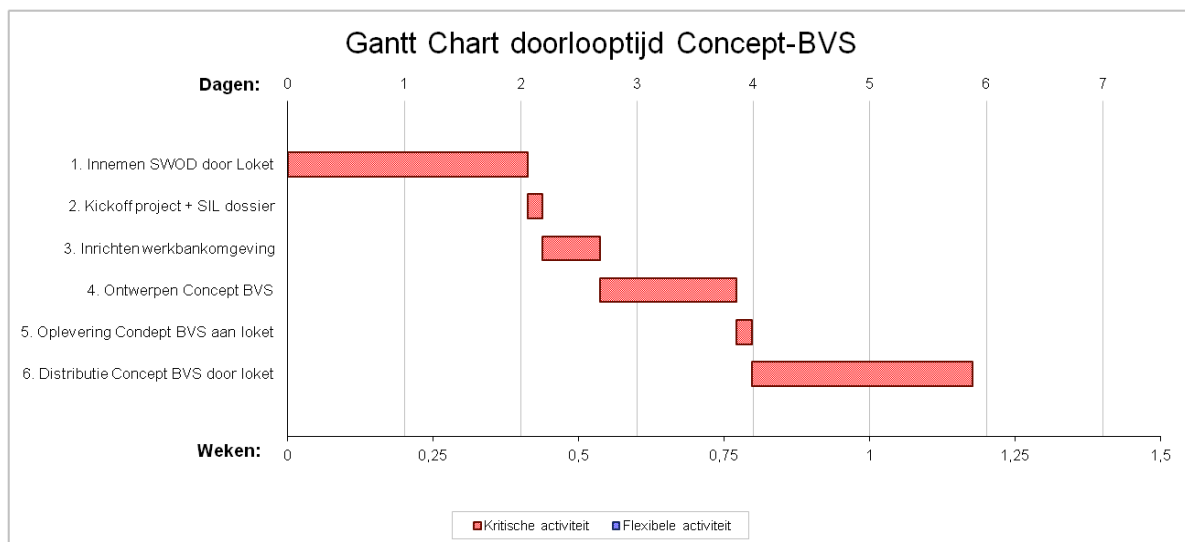
De minimale doorlooptijd van het Concept-BVS is te berekenen door de verwachte duur van iedere activiteit op het kritieke pad bij elkaar op te tellen. Dit geldt evenzo voor de berekening van

de standaardafwijking. De minimale doorlooptijd kan ook worden afgelezen uit tabel 5.5 door te kijken naar de waarde van de earliest finish time (EF) of latest finish time (LF) van de laatste activiteit van het kritieke pad, activiteit 6 in dit geval. De berekeningen van de minimale doorlooptijd van het Concept-BVS in zowel dagen als weken staan in tabel 5.6. De omzetting naar weken is toegevoegd aangezien op deze manier later in het onderzoek een juiste vergelijking kan worden gemaakt met de werkelijke doorlooptijden van het Concept-BVS die zijn berekend in hoofdstuk 4.

Van het kritieke pad en de minimale doorlooptijd van het Concept-BVS is tenslotte een Gantt Chart gemaakt die deze waarden op een inzichtelijke manier weergeeft. Zie figuur 5.7.

| Concept-BVS                      | $\mu$ totaal | $\sigma$ totaal |
|----------------------------------|--------------|-----------------|
| Minimale doorlooptijd (in dagen) | 5,88         | 1,43            |
| Minimale doorlooptijd (in weken) | 1,18         | 0,29            |

Tabel 5.6: Minimale doorlooptijd Concept-BVS



Figuur 5.7: Gantt Chart minimale doorlooptijd Concept-BVS

### 5.3.2 Voorlopig BVS

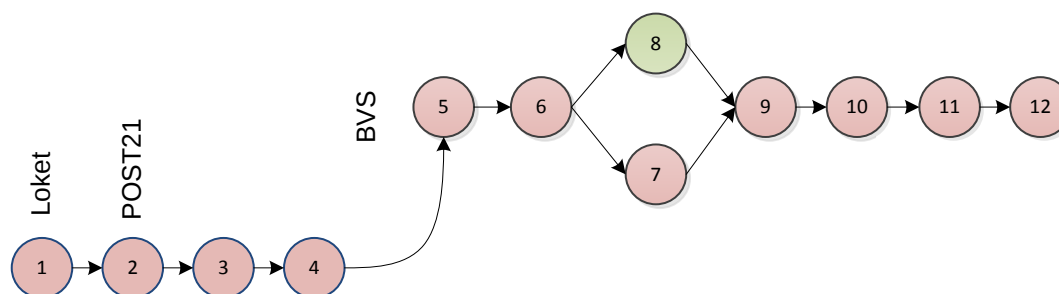
In deze subparagraaf wordt de hoeveelheid slack, het kritieke pad en de minimale doorlooptijd van het productieproces van het Voorlopig-BVS berekend. De productie kan worden gestart wanneer het SWOD is ingenomen door het loket van RIGD-LOXIA. Vanaf deze handeling tot en met de oplevering van het BVS op RailDocs zijn de activiteiten gedefinieerd om een juiste schatting te krijgen van de minimale doorlooptijd van het Voorlopig-BVS.

De waarden van de vier parameters ES, EF, LS en LF die bij iedere activiteit van het Voorlopig-BVS zijn berekend worden in tabel 5.7 weergegeven. Alle waarden in de tabel zijn uitgedrukt in dagen en een dag bestaat uit 8 uur.

| Voorlopig-BVS |                                      | (In dagen)      |                          |                                  |       |       |       |       |       |
|---------------|--------------------------------------|-----------------|--------------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Activiteit    | Beschrijving                         | Afhankelijk van | Verwachte duur ( $\mu$ ) | Standaard afwijking ( $\sigma$ ) | ES    | EF    | LS    | LF    | Slack |
| 1             | Innemen SWOD door Loker              | -               | 2,06                     | 0,60                             | 0,00  | 2,06  | 0,00  | 2,06  | 0     |
| 2             | Configureren POST21 tbv. BVS         | 1               | 9,00                     | 1,67                             | 2,06  | 11,06 | 2,06  | 11,06 | 0     |
| 3             | Call configuratie                    | 2               | 1,00                     | 0,17                             | 11,06 | 12,06 | 11,06 | 12,06 | 0     |
| 4             | Test configuratie                    | 3               | 1,21                     | 0,29                             | 12,06 | 13,27 | 12,06 | 13,27 | 0     |
| 5             | Inlezen POST21 input voor BVS        | 4               | 0,26                     | 0,08                             | 13,27 | 13,53 | 13,27 | 13,53 | 0     |
| 6             | Creëren basis voor Voorlopig BVS     | 5               | 0,48                     | 0,10                             | 13,53 | 14,01 | 13,53 | 14,01 | 0     |
| 7             | Genereren tekstdelen Voorlopig BVS   | 6               | 2,25                     | 0,75                             | 14,01 | 16,26 | 14,01 | 16,26 | 0     |
| 8             | Genereren tekeningen Voorlopig BVS   | 6               | 0,88                     | 0,46                             | 14,01 | 14,88 | 15,38 | 16,26 | 1,38  |
| 9             | Interne review Voorlopig BVS         | 7;8             | 2,25                     | 0,75                             | 16,26 | 18,51 | 16,26 | 18,51 | 0     |
| 10            | Verwerken interne Review             | 9               | 0,51                     | 0,16                             | 18,51 | 19,02 | 18,51 | 19,02 | 0     |
| 11            | Oplevering Voorlopig BVS aan loket   | 10              | 0,18                     | 0,07                             | 19,02 | 19,19 | 19,02 | 19,19 | 0     |
| 12            | Distributie Voorlopig BVS door loket | 11              | 2,06                     | 0,60                             | 19,19 | 21,26 | 19,19 | 21,26 | 0     |

Tabel 5.7: kritieke pad en slack berekeningen van het productieproces het Voorlopig-BVS

Uit deze tabel is te zien dat activiteit 8, het genereren van de tekeningen van het Voorlopig-BVS, 1,38 dagen slack bevat. Deze activiteit kan 1,38 dage later starten zonder dat het invloed heeft op de doorlooptijd van het Voorlopig-BVS en bevindt zich niet op het kritieke pad. De overige activiteiten bevinden zich wel op het kritieke pad en dragen bij aan de totale doorlooptijd van het BVS. In figuur 5.8 is met een rode kleur het kritieke pad ook visueel weergegeven in een netwerkdiagram:



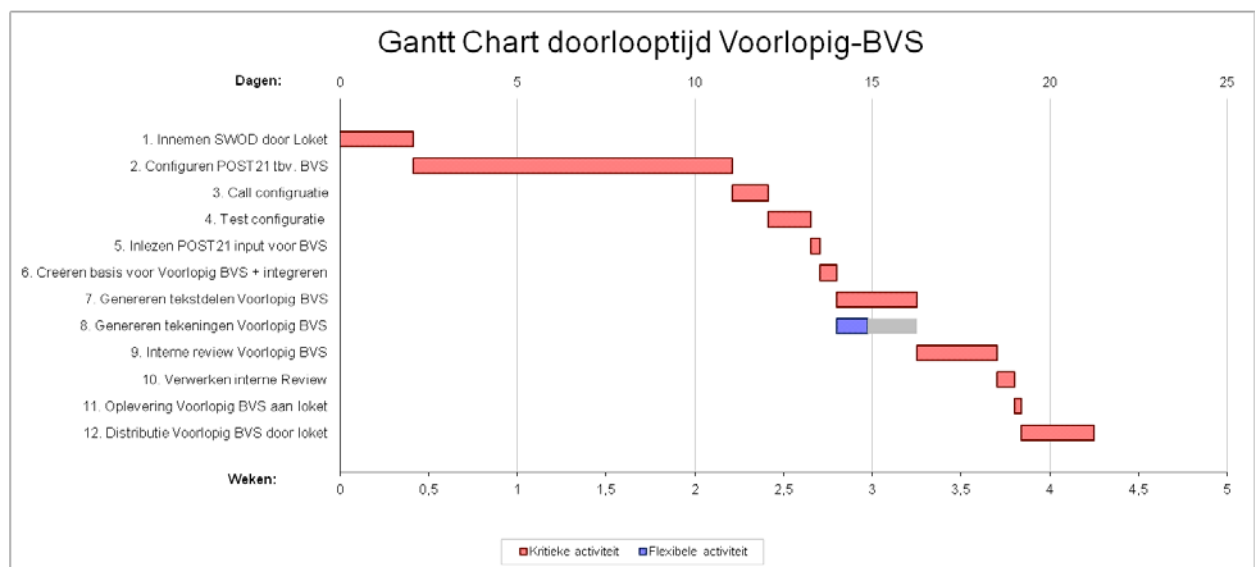
Figuur 5.8: Kritieke pad Voorlopig-BVS

De minimale doorlooptijd van het Voorlopig-BVS is te berekenen door de verwachte duur van iedere activiteit op het kritieke pad bij elkaar op te tellen. Dit geldt evenzo voor de berekening van de standaardafwijking. De minimale doorlooptijd kan ook worden afgelezen uit tabel 5.7 door te kijken naar de waarde van de earliest finish time (EF) of latest finish time (LF) van de laatste activiteit van het kritieke pad, activiteit 12 in dit geval. De berekeningen van de minimale doorlooptijd van het Voorlopig-BVS in zowel dagen als weken staan in tabel 5.8. De omzetting naar weken is toegevoegd aangezien op deze manier later in het onderzoek een juiste vergelijking kan worden gemaakt met de werkelijke doorlooptijden van het Voorlopig-BVS die zijn berekend in hoofdstuk 4.

| Voorlopig-BVS                    | $\mu$ totaal | $\sigma$ totaal |
|----------------------------------|--------------|-----------------|
| Minimale doorlooptijd (in dagen) | 21,26        | 5,24            |
| Minimale doorlooptijd (in weken) | 4,25         | 1,05            |

Tabel 5.8: Minimale doorlooptijd Voorlopig-BVS

Van het kritieke pad en de minimale doorlooptijd van het Voorlopig-BVS is tenslotte een Gantt Chart gemaakt die deze waarden op een



Figuur 5.9: Gantt Chart minimale doorlooptijd Voorlopig-BVS

inzichtelijke manier weergeeft. Zie figuur 5.9.

### 5.3.3 Definitief BVS

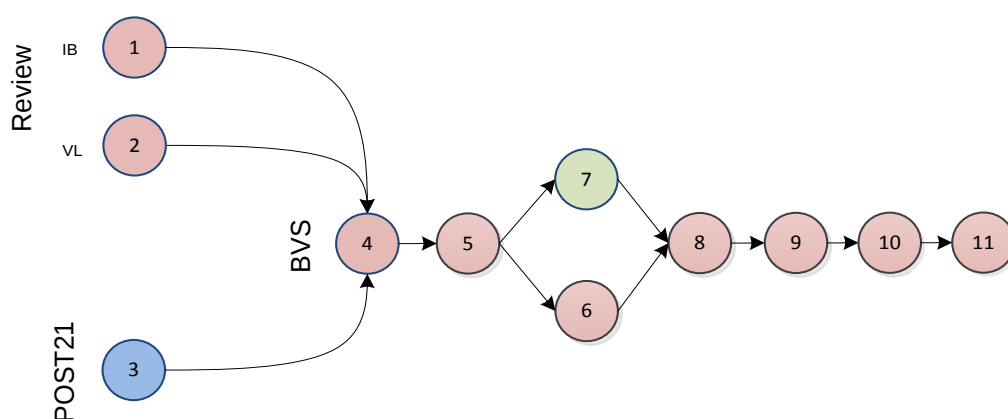
In deze subparagraaf wordt de hoeveelheid slack, het kritieke pad en de minimale doorlooptijd van het productieproces van het Definitief-BVS berekend. De waarden van de vier parameters ES, EF, LS en LF die bij iedere activiteit van het Definitief-BVS zijn berekend worden in tabel 5.9 weergegeven.

Alle waarden in de tabel zijn uitgedrukt in dagen en een dag bestaat uit 8 uur.

| Definitief-BVS |                                         | (In dagen)      |                          |                                  |       |       |       |       |       |
|----------------|-----------------------------------------|-----------------|--------------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Activiteit     | Beschrijving                            | Afhankelijk van | Verwachte duur ( $\mu$ ) | Standaard afwijking ( $\sigma$ ) | ES    | EF    | LS    | LF    | Slack |
| 1              | Review door Verkeersleiding             | -               | 13,67                    | 6,33                             | 0,00  | 13,67 | 0,00  | 13,67 | 0,00  |
| 2              | Review door Ingenieursbureau            | -               | 13,67                    | 6,33                             | 0,00  | 13,67 | 0,00  | 13,67 | 0,00  |
| 3              | Configureren/integreren POST21 tbv. BVS | -               | 6,25                     | 0,42                             | 0,00  | 6,25  | 7,42  | 13,67 | 7,42  |
| 4              | Inlezen POST21 input voor BVS           | 1;2;3           | 0,26                     | 0,08                             | 13,67 | 13,92 | 13,67 | 13,92 | 0,00  |
| 5              | Creëren basis voor Definitief BVS       | 4               | 0,52                     | 0,15                             | 13,92 | 14,44 | 13,92 | 14,44 | 0,00  |
| 6              | Genereren tekstdelen Definitief BVS     | 5               | 1,92                     | 0,42                             | 14,44 | 16,36 | 14,44 | 16,36 | 0,00  |
| 7              | Genereren tekeningen Definitief BVS     | 5               | 1,21                     | 0,46                             | 14,44 | 15,65 | 15,15 | 16,36 | 0,71  |
| 8              | Interne review Definitief BVS           | 6;7             | 2,08                     | 0,58                             | 16,36 | 18,44 | 16,36 | 18,44 | 0,00  |
| 9              | Verwerken interne review Definitief BVS | 8               | 0,51                     | 0,16                             | 18,44 | 18,95 | 18,44 | 18,95 | 0,00  |
| 10             | Oplevering Definitief BVS aan loket     | 9               | 0,18                     | 0,07                             | 18,95 | 19,13 | 18,95 | 19,13 | 0,00  |
| 11             | Distributie Definitief BVS door loket   | 10              | 2,06                     | 0,60                             | 19,13 | 21,19 | 19,13 | 21,19 | 0,00  |

Tabel 5.9: Kritieke pad en slack berekeningen van het productieproces van het Definitief-BVS

Uit deze tabel is te zien dat twee activiteiten slack (planningsruimte) bevatten: activiteit 3 en 7. Deze activiteiten bevinden zich ook niet op het kritieke pad. De overige activiteiten, met slack=0, van het Definitief-BVS bevinden zich wel op het kritieke pad en dragen bij aan de totale tijdsduur van het productieproces. Verder blijkt uit deze tabel dat voornamelijk de reviews die moeten worden uitgevoerd door de verkeersleiding (VL) en ingenieursbureaus (IB) de doorlooptijd van het Definitief-BVS vergroten. In figuur 5.10 is het kritieke pad ook visueel weergegeven in een netwerkdiagram:



Figuur 5.10: Kritieke pad Definitief-BVS

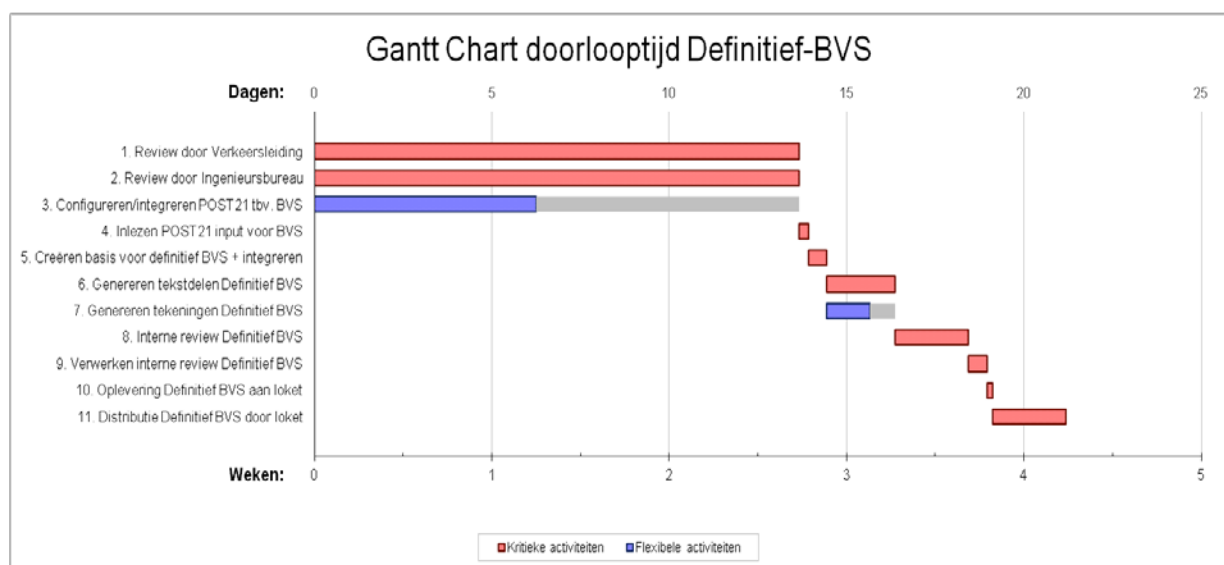
De minimale doorlooptijd van het Definitief-BVS is te berekenen door de verwachte duur van iedere activiteit op het kritieke pad bij elkaar op te tellen. Dit geldt evenzo voor de berekening van de standaardafwijking. De minimale doorlooptijd kan ook worden afgelezen uit tabel 5.9 door te kijken naar de waarde van de earliest finish time (EF) of latest finish time (LF) van de laatste activiteit van het kritieke pad, activiteit 11 in dit geval. De berekeningen van de minimale doorlooptijd van het

Definitief-BVS in zowel dagen als weken staan in tabel 5.10. De omzetting naar weken is toegevoegd aangezien op deze manier later in het onderzoek een juiste vergelijking kan worden gemaakt met de werkelijke doorlooptijden van het Definitief-BVS die zijn berekend in hoofdstuk 4.

| Definitief-BVS                   | $\mu$ totaal | $\sigma$ totaal |
|----------------------------------|--------------|-----------------|
| Minimale doorlooptijd (in dagen) | 21,19        | 14,72           |
| Minimale doorlooptijd (in weken) | 4,24         | 2,94            |

Tabel 5.10: Minimale doorlooptijd Definitief-BVS

Van het kritieke pad en de minimale doorlooptijd van het Definitief-BVS is tenslotte een Gantt Chart gemaakt die deze waardes op een inzichtelijke manier weergeeft. Zie figuur 5.11. De berekende slack van activiteit 8 komt hier goed naar voren.



Figuur 5.11: Gantt Chart minimale doorlooptijd van het productieproces van het Definitief-BVS

### 5.3.4. As-built-BVS

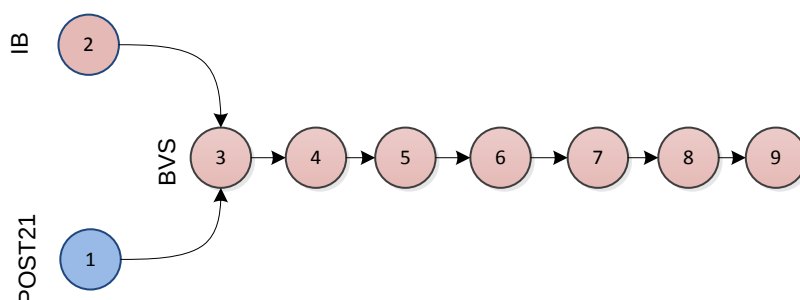
In deze subparagraaf wordt de hoeveelheid slack, het kritieke pad en de minimale doorlooptijd van het productieproces van het As-built-BVS berekend. Deze activiteiten vinden plaats na de indienststelling van het infraproject.

Om een beeld te krijgen van de totale doorlooptijd van het As-built BVS wordt de ontwikkeling van het As-built SWOD door het ingenieursbureau (IB) ook meegerekend. De waardes van de vier parameters ES, EF, LS en LF die bij iedere activiteit van het Voorlopig-BVS zijn zijn berekend worden in tabel 5.11 weergegeven. Alle waardes in de tabel zijn uitgedrukt in dagen en een dag bestaat uit 8 uur.

| As-built-BVS |                                     | (In dagen)      |                          |                                  |       |       |       |       |       |
|--------------|-------------------------------------|-----------------|--------------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Activiteit   | Beschrijving                        | Afhankelijk van | Verwachte duur ( $\mu$ ) | Standaard afwijking ( $\sigma$ ) | ES    | EF    | LS    | LF    | Slack |
| 1            | POST21 nazorgperiode                | -               | 3,00                     | 0,67                             | 0,00  | 3,00  | 4,17  | 7,17  | 4,17  |
| 2            | Ontwerpen AB-SWOD door IB           | -               | 7,17                     | 2,83                             | 0,00  | 7,17  | 0,00  | 7,17  | 0,00  |
| 3            | Innemen SWOD door loket             | 1;2             | 1,92                     | 0,42                             | 7,17  | 9,08  | 7,17  | 9,08  | 0,00  |
| 4            | To-built/As-build BVS maken         | 3               | 2,25                     | 0,75                             | 9,08  | 11,33 | 9,08  | 11,33 | 0,00  |
| 5            | Integraties verwerken (eventueel)   | 4               | 0,50                     | 0,17                             | 11,33 | 11,83 | 11,33 | 11,83 | 0,00  |
| 6            | AFCA's verwerken (eventueel)        | 5               | 1,83                     | 0,83                             | 11,83 | 13,67 | 11,83 | 13,67 | 0,00  |
| 7            | Interne review As-build BVS         | 6               | 1,08                     | 0,25                             | 13,67 | 14,75 | 13,67 | 14,75 | 0,00  |
| 8            | Oplevering As-build BVS aan loket   | 7               | 0,18                     | 0,07                             | 14,75 | 14,93 | 14,75 | 14,93 | 0,00  |
| 9            | Distributie As-build BVS door loket | 8               | 2,06                     | 0,60                             | 14,93 | 16,99 | 14,93 | 16,99 | 0,00  |

Tabel 5.11: Kritieke pad en slack berekeningen van het productieproces van het As-built-BVS

Uit deze tabel is te zien dat alleen de nazorg periode van de POST21 afdeling slack (planningsruimte) bevat. De overige activiteiten van het As-built-BVS die geen slack bevatten bevinden zich wel op het kritieke pad en dragen bij aan de totale doorlooptijd van het As-built-BVS. In figuur 5.12 is het kritieke pad ook visueel weergegeven in een netwerkdiagram. Verder blijkt uit deze tabel dat voornamelijk het ontwerpen van het As-built SWOD door een ingenieursbureau de doorlooptijd doet vergroten. RIGD-LOXIA zal moeten wachten totdat dit SWOD is opgeleverd aan RIGD-LOXIA.



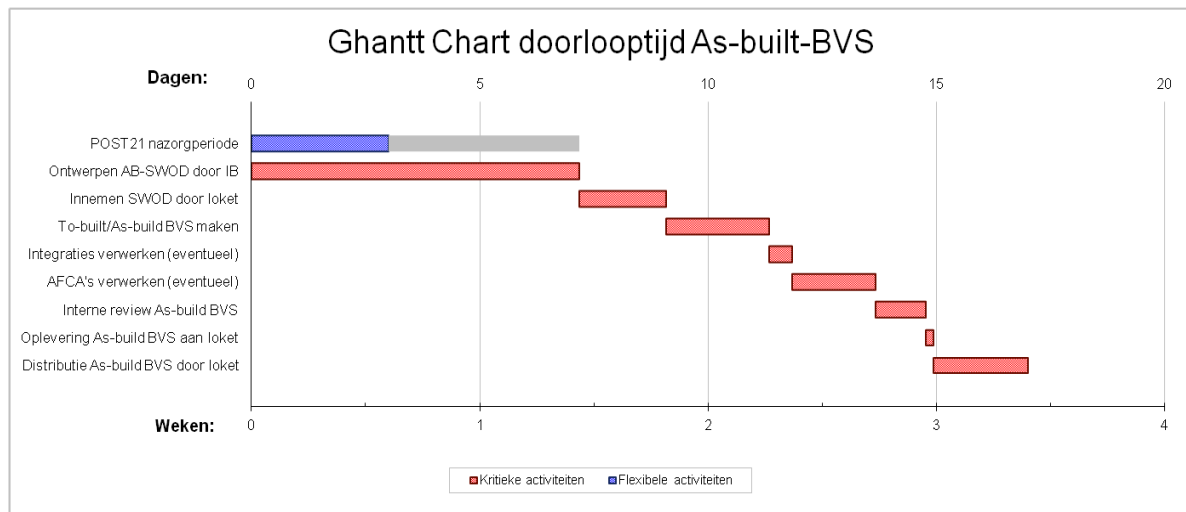
Figuur 5.12: Kritieke pad As-built-BVS

De minimale doorlooptijd van het As-built-BVS is te berekenen door de verwachte duur van iedere activiteit op het kritieke pad bij elkaar op te tellen. Dit geldt evenzo voor de berekening van de standaardafwijking. De minimale doorlooptijd kan ook worden afgelezen uit tabel 5.11 door te kijken naar de waarde van de earliest finish time (EF) of latest finish time (LF) van de laatste activiteit van het kritieke pad, activiteit 9 in dit geval. De berekeningen van de minimale doorlooptijd van het As-built-BVS in zowel dagen als weken staan in tabel 5.12. De omzetting naar weken is toegevoegd aangezien op deze manier later in het onderzoek een juiste vergelijking kan worden gemaakt met de werkelijke doorlooptijden van het As-built-BVS die zijn berekend in hoofdstuk 4.

| As-built-BVS                     | $\mu$ totaal | $\sigma$ totaal |
|----------------------------------|--------------|-----------------|
| Minimale doorlooptijd (in dagen) | 16,99        | 5,93            |
| Minimale doorlooptijd (in weken) | 3,40         | 1,19            |

Tabel 5.12: Minimale doorlooptijd As-built-BVS

Van het kritieke pad en de minimale doorlooptijd van het As-built-BVS is tenslotte een Gantt Chart gemaakt die deze waarden op een inzichtelijke manier weergeeft. Zie figuur 5.13.



**Figuur 5.13: Gantt Chart minimale doorlooptijd van het As-built-BVS**

## 5.4 Kritieke levermoment SWOD

Het kritieke pad, de slack en minimale doorlooptijden van ieder tussenproduct van het BVS zijn inzichtelijk gemaakt. In deze paragraaf wordt de laatste stap van de PERT-methodiek uitgevoerd om zodoende het kritieke levermoment van het SWOD te berekenen.

Deze paragraaf is op de volgende manier gestructureerd:

- Paragraaf 5.4.1:
  - o Allereerst wordt een korte introductie gegeven van de statistiek achter het model door gebruik te maken van een voorbeeldberekening
- Paragraaf 5.4.2:
  - o In deze paragraaf zal allereerst het kritieke levermoment worden gedefinieerd waarnaar voor projectsituatie 1 het kritieke levermoment wordt berekend.
- Paragraaf 5.4.3:
  - o Berekening kritieke levermoment van het SWOD voor projectsituatie 2
- Paragraaf 5.4.4:
  - o Berekening kritieke levermoment van het SWOD voor projectsituatie 3.

### 5.4.1 Introductie en voorbeeldberekening

Allereerst wordt een korte introductie gegeven van de statistiek achter de PERT-methodiek via een voorbeeldberekening. Op deze manier zijn de berekeningen in deze paragraaf makkelijker te volgen.

In de vorige paragraaf is van ieder tussenproduct van het BVS de doorlooptijd berekend met een verwachte waarde  $\mu_{totaal}$  en standaardafwijking  $\sigma_{totaal}$ . Volgens de eigenschappen en voorwaarden van het PERT-model is deze verwachte waarde te benaderen met een normale verdeling (voor details zie paragraaf 5.1). Met behulp van de eigenschappen van de normale verdeling is het mogelijk om verschillende kansen te berekenen. Een voorbeeld:

---

#### Voorbeeld:

Het Concept-BVS heeft een verwachte doorlooptijd van  $\mu = 1,18$  week met standaardafwijking  $\sigma = 0,29$  week. RIGD-LOXIA wil weten wat de kans is dat het Concept-BVS binnen 1,5 week is afgerond?

Deze kans is als volgt te berekenen:

Het Concept-BVS proces heeft een unieke  $\mu_{totaal}$  en  $\sigma_{totaal}$ , met een normale verdeling  $N(\mu, \sigma)$  die kan worden getransformeerd naar de standaard normale verdeling  $N(0,1)$  door het berekenen van de Z-waarde.

De formule van de Z-waarde =  $\frac{\text{Gevraagde doorlooptijd} - \mu_{\text{totaal}}}{\sigma_{\text{totaal}}}$ , wordt dan  $z = \frac{1,5 - 1,18}{0,29} = 1,13$

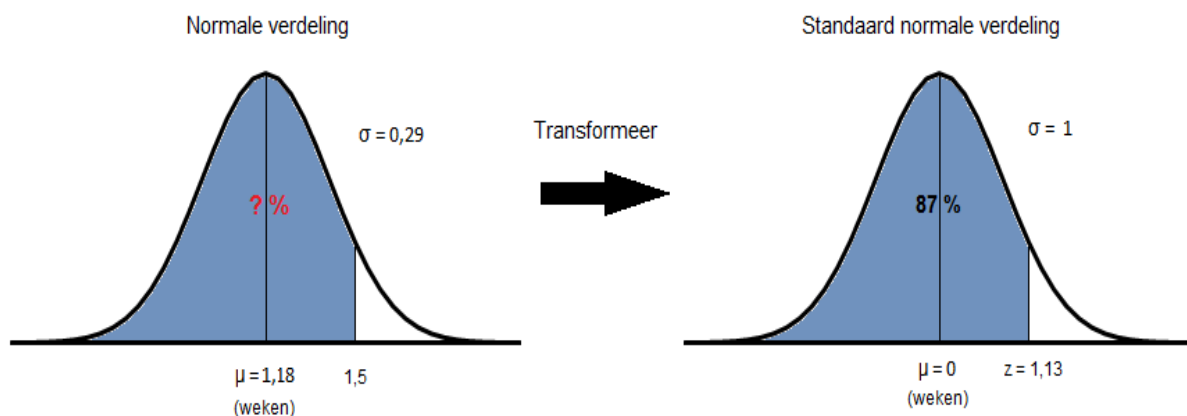
Met deze waarde kan door gebruik te maken van de standaard normale verdelingstabel de kans worden berekend dat het productieproces binnen de gevraagde tijd is afgerond (Larson & Grey, 2011). Uit de verdelingstabel is af te lezen dat deze kans 87% is. Dus met 87% zekerheid is vast te stellen dat het Concept-BVS binnen 1,5 week is afgerond.

Samenvattend:

Gevraagd:  $P(x < 1,5)$ , met  $x$  = de verwachte doorlooptijd van het Concept-BVS.

$$P(x < 1,5) = P\left(z < \frac{1,5 - \mu}{\sigma}\right) = P\left(z < \frac{1,5 - 1,18}{0,29}\right) = P(z < 1,13) = 0,87 = 87\%$$

Deze berekening is tenslotte ook visueel weergegeven in figuur 5.14.



**Figuur 5.14: Visuele weergave van voorbeeldberekening**

De inverse van deze berekeningen kunnen ook worden uitgevoerd. Hiermee kan bijvoorbeeld de volgende vraag worden beantwoord: na hoeveel tijd is met 95% zekerheid vast te stellen dat het Concept-BVS is afgerond?

Variaties van deze berekeningen worden in deze paragraaf uitgevoerd om zodoende achter het kritieke levermoment van het SWOD te komen.

### 5.4.2 Kritieke levermoment SWOD in projectsituatie 1

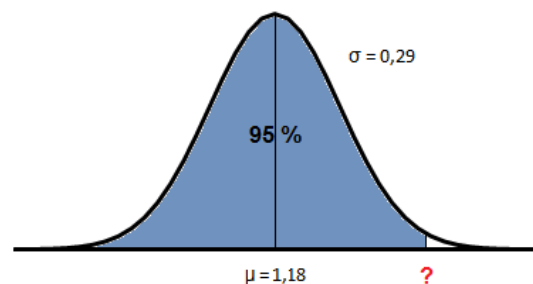
Allereerst zal 'het kritieke levermoment van het SWOD' moeten worden gedefinieerd. Het kritieke levermoment van het SWOD is het moment van levering van het SWOD aan RIGD-LOXIA zodat een tijdige levering van het BVS is te garanderen. RIGD-LOXIA heeft als doelstelling dat 95% van de BVS opleveringen volgens de vastgestelde procedurele levermomenten moeten worden opgeleverd.

In projectsituatie 1, het Volledig BVS, wordt ieder tussenproduct van het BVS opgeleverd, dit betreft: het Concept, Voorlopig, Definitief en As-built BVS.

Het Concept-BVS is het eerste product dat moet worden opgeleverd en dit moment staat procedureel vastgesteld op 23 weken voor de indienststelling. Het kritieke levermoment van het SWOD in deze projectsituatie wordt daarmee:

$$\text{Doorlooptijd Concept BVS (met servicegraad 95\%)} + 23 \text{ weken}$$

RIGD-LOXIA heeft als doelstelling dat 95% van de BVS oplevering op tijd moeten worden geleverd. Het productieproces van het Concept-BVS zal dus voldoende tijd moeten krijgen dat in 95% van de gevallen het BVS tijdig wordt opgeleverd. RIGD-LOXIA wil dus met 95% zekerheid vast kunnen stellen dat het Concept-BVS is afgerond. Zie figuur 5.15 voor een visualisatie van deze vraag.



**Figuur 5.15: Doorlooptijd Concept-BVS met een servicegraad van 95%**

De doorlooptijd van het Concept-BVS heeft een verwachte waarde van  $\mu = 1,18$  week, met standaardafwijking  $\sigma = 0,29$ . Door de inverse te bepalen van de cumulatieve normale verdeling met de gegeven

waardes is het antwoord op deze vraag 1,54 weken. Dus met 95% zekerheid is vast te stellen dat het Concept-BVS binnen 1,54 weken is afgerond. Zodoende kan de waarde van het kritieke levermoment van het SWOD in projectsituatie 1 worden vastgesteld op  $23 + 1,54 \text{ weken} = 24,54 \text{ weken}$ .

#### Haalbaarheid tijdigheid van overige BVS-en in projectsituatie 1

Ook zal inzichtelijk moeten worden gemaakt in hoeverre voor de overige BVS-en in deze projectsituatie voldoende tijd beschikbaar is om een tijdige oplevering te garanderen. Dit wordt op de volgende manier inzichtelijk gemaakt:

Allereerst zal van ieder tussenproduct de doorlooptijd moeten worden berekend waar met 95% zekerheid is vast te stellen dat de productie van het BVS binnen deze tijd is afgerond. Dit zijn dezelfde berekeningen als in figuur 5.14, maar dan met andere waardes van  $\mu$  en  $\sigma$ . De berekende waardes worden in tabel 5.13 weergegeven

| Minimale doorlooptijd<br>(in weken) | Verwachte<br>duur<br>( $\mu$ totaal) | Standaard<br>afwijking<br>( $\sigma$ totaal) | $\mu$ totaal<br>(95% service<br>graad) |
|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|
| Concept-BVS                         | 1,18                                 | 0,29                                         | 1,54                                   |
| Voorlopig-BVS                       | 4,25                                 | 1,05                                         | 5,60                                   |
| Definitief-BVS                      | 4,24                                 | 2,94                                         | 8,01                                   |
| As-built-BVS                        | 3,40                                 | 1,19                                         | 4,92                                   |

**Tabel 5.13: Doorlooptijden BVS-en met een servicegraad van 95%**

Vervolgens kan, uitgaande van het vastgestelde kritieke levermoment van 24,54 weken, de mogelijke productietijden worden vergeleken met de berekende doorlooptijden die een servicegraad van 95% verzekeren. Wanneer de tijdsduur die mogelijk is om te kunnen produceren groter of gelijk is dan de berekende doorlooptijden met een servicegraad van 95% kan worden vastgesteld dat ook voor deze BVS-en voldoende productietijd beschikbaar is om een servicegraad van 95% te behalen.

Zo is de mogelijke productietijd van het Concept-BVS te berekenen door het kritieke levermoment te verminderen met het procedureel vastgestelde oplevermoment:  $24,54 - 24 = 1,54$  weken.

De mogelijke productietijd van het Voorlopig-BVS te berekenen door het kritieke levermoment te verminderen met het procedureel vastgestelde levermoment van het Voorlopig-BVS van 15 weken voor de indienststelling:  $24,54 - 15 = 9,54$  weken. Het Voorlopig-BVS is namelijk afhankelijk van het SWOD en een stukje productie van de POST21 afdeling. Bij de berekeningen van de verwachte doorlooptijd van het Voorlopig-BVS in paragraaf 5.3 is hier rekening mee gehouden wat zorgt voor een eerlijke vergelijking met de vastgestelde mogelijke productietijd.

De mogelijke productietijd van het Definitief-BVS is te berekenen door het oplevermoment van het Voorlopig-BVS te verminderen met het procedureel vastgestelde levermoment van 5 weken van het Definitief-BVS:  $15 - 5 = 10$  weken. Het Voorlopig-BVS wordt in 95% van de gevallen tijdig opgeleverd dus is dit een reële waarde van de mogelijke productietijd.

Het As-built-BVS wordt geproduceerd na de indienststelling van het project en is niet afhankelijk van de to-build SWOD levering waarvan het kritieke levermoment is vastgesteld op 24,54 weken voor de indienststelling. Het As-built-BVS is namelijk afhankelijk van het As-built SWOD dat wordt opgeleverd aan RIGD-LOXIA door een ingenieursbureau. Om te kunnen beoordelen of voor het As-built-BVS voldoende tijd beschikbaar is, wordt gekeken naar de mogelijke productietijd die het in de huidige situatie toegewezen krijgt. In de huidige situatie moet RIGD-LOXIA 2 weken na de indienststelling van het project het As-Built-BVS opleveren, dit is inclusief het ontwerp van het As-built SWOD door ingenieursbureaus (PRC00029, 2013). De mogelijke productietijd voor het As-built-BVS is hiermee vast te stellen op 2 weken. De berekende waarden worden in tabel 5.14 weergegeven.

| Projectsituatie 1<br>(in weken) | Procedureel<br>vastgestelde<br>levermoment | Mogelijke<br>productietijd | $\mu$ totaal<br>(95%<br>service<br>graad) | Plannings-<br>ruimte<br>(slack) |
|---------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|
| Concept-BVS                     | -23                                        | 1,54                       | 1,54                                      | 0,00                            |
| Voorlopig-BVS                   | -15                                        | 9,54                       | 5,60                                      | 3,94                            |
| Definitief-BVS                  | -5                                         | 10                         | 8,01                                      | 1,99                            |
| As-built-BVS                    | +2                                         | 2                          | 4,92                                      | -2,92                           |

**Tabel 5.14: Vergelijking mogelijke productietijd en doorlooptijden van ieder tussenproduct van het BVS**

Uit deze tabel is zien dat met het vastgestelde kritieke levermoment van 25,54 weken ook ruim voldoende tijd beschikbaar wordt gemaakt om 95% tijdigheid van de overige BVS-en te kunnen behalen. Let wel, dit geldt voor het Concept, Voorlopig en Definitief-BVS aangezien deze voor de indienststelling plaatsvinden en afhankelijk zijn van het to-build SWOD.

Voor het Voorlopig en Definitief-BVS blijkt namelijk dat naast de berekende verwachte doorlooptijd (met een servicegraad van 95%), respectievelijk 3,94 weken en 1,99 weken planningsruimte overblijft. Dit is ontzettend ruim en zal tijdige leveringen van deze tussenproducten van het BVS moeten garanderen aangezien met de berekende verwachte doorlooptijd van het Voorlopig-BVS en Definitief-BVS al ruimschoots rekening is gehouden om mogelijke verstoringen tijdens het proces op te kunnen vangen.

Het oplevermoment van het As-built-BVS is in de huidige situatie vastgesteld op 2 weken na de indienststelling. Om 95% tijdigheid van het As-built-BVS te kunnen garanderen is echter 4,92 weken nodig. Uit deze berekeningen kan worden geconcludeerd dat het vastgestelde oplevermoment van 2 weken te vroeg is om het As-built-BVS binnen deze tijd op te kunnen leveren.

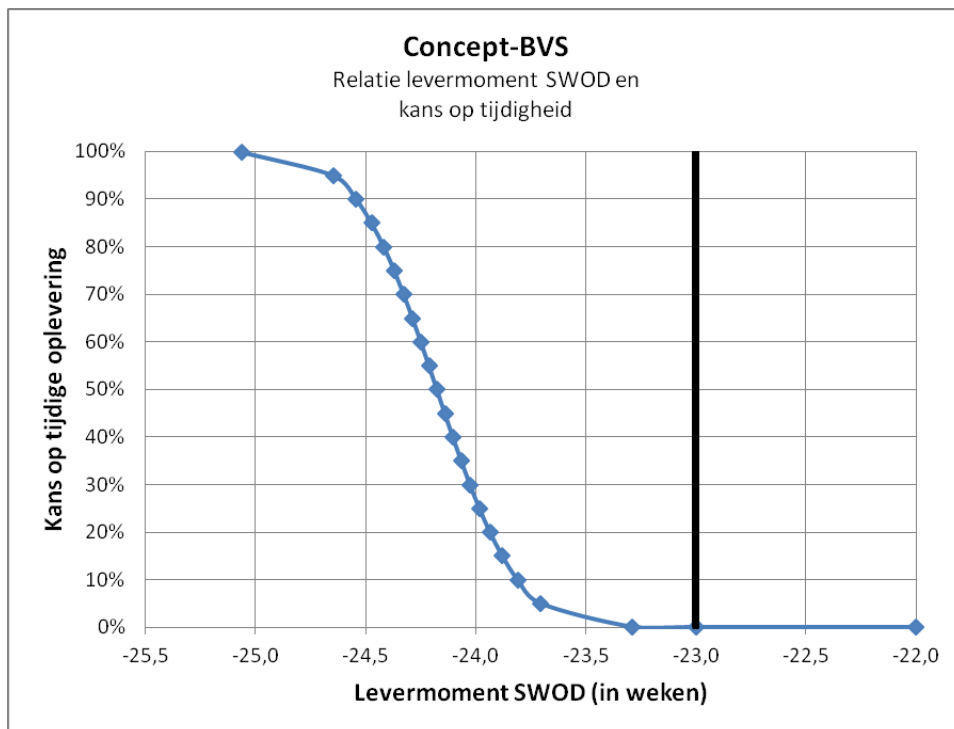
### Relatie levermoment SWOD en kans op tijdigheid

Het kritieke levermoment is berekend om met 95% zekerheid vast te kunnen stellen dat het Concept-BVS tijdig wordt opgeleverd. Het SWOD komt in de praktijk echter, en dat is gebleken uit de cijfers van hoofdstuk 4, niet op een vast moment aan. Dit kan verschillende oorzaken hebben, maar het is interessant om te weten wat de exacte relatie is tussen het oplevermoment van het SWOD en de kans op tijdige levering.

Deze kansen kunnen namelijk op verschillende manier een bijdrage leveren voor RIGD-LOXIA:

- Allereerst kunnen leveranciers (ingenieursbureaus) met deze inzichten worden aangestuurd. Wanneer voor een ingenieursbureau exact inzichtelijk wordt hoeveel invloed een verlate SWOD-levering heeft op de tijdigheid van het BVS zal dit een positief effect hebben op de tijdigheid van de oplevering door het ingenieursbureau. Transparantie naar leveranciers over de gevolgen van een late oplevering helpt leveranciers namelijk beter te presteren (Visser & Van Goor, 2008).
- De prestaties van het productieproces kan met deze kansen eerlijker worden beoordeeld, aangezien in de huidige situatie dit gegeven onbekend is en een te late levering van het SWOD direct wordt gerelateerd aan een te late BVS oplevering. Het probleem ligt genuanceerder en dat kan deze kansen inzichtelijk maken.

De exacte relatie tussen het oplevermoment van het SWOD en de kans op tijdige levering van het Concept-BVS kan inzichtelijk worden gemaakt met de stochastische eigenschappen van PERT-model. In figuur 5.16 is een grafiek opgesteld waar van ieder levermoment van het SWOD de kans is berekend dat binnen de overgebleven tijd het Concept-BVS kan worden afgerond. Dit kan worden berekend door de inverse te bepalen bij ieder gevraagde levermoment van de cumulatieve normale verdeling met  $\mu = 1,18$  en  $\sigma = 0,29$ .



**Figuur 5.16: Relatie levermoment SWOD en kans op tijdigheid van het Concept-BVS**

Uit de waarden van figuur 5.15 blijkt dat tijdige oplevering van het Concept-BVS 99,99% kan worden gegarandeerd wanneer het SWOD 25,06 weken of meer voor de indienststelling van het project wordt aangeleverd. Wordt het SWOD bijvoorbeeld 24 weken voor indienststelling opgeleverd aan RIGD-LOXIA is kans geslonken naar 30% om het Concept-BVS tijdig op te leveren. Het procedureel vastgestelde opleverdatum is 23 weken voor de indienststelling dus vanaf dat moment is de kans 0% dat een tijdige oplevering kan worden behaald.

Hiermee is het kritieke levermoment van het SWOD in projectsituatie 1 inzichtelijk gemaakt.

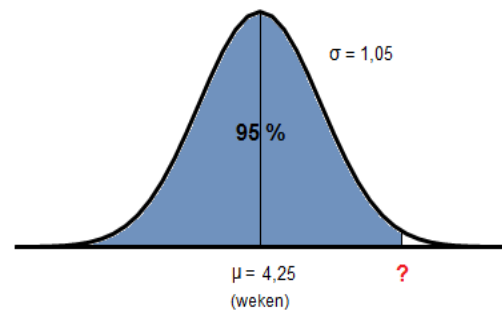
### 5.4.3 Kritieke levermoment SWOD in projectsituatie 2

Tijdens de analyse van de oplevermomenten in de praktijk is gebleken dat het SWOD dusdanig te laat kan binnenkomen dat het opleveren van een Concept-BVS niet meer mogelijk is. Deze projectsituatie is gedefinieerd als Voorlopig/Definitief-BVS. Het management van RIGD-LOXIA wil weten waar het kritieke levermoment van het SWOD zich in deze projectsituatie bevindt.

In projectsituatie 2, het Voorlopig/Definitief-BVS, wordt alleen het Voorlopig, Definitief en As-built-BVS opgeleverd. RIGD-LOXIA tracht in deze situatie ook 95% van de BVS-en tijdig op te leveren. Het Voorlopig-BVS is het eerste product dat in deze projectsituatie moet worden opgeleverd en staat procedureel vastgesteld op 15 weken voor de indienststelling. Het kritieke levermoment in deze projectsituatie wordt daarmee:

$$\text{Doorlooptijd Voorlopig BVS (met servicegraad 95\%)} + 15 \text{ weken}$$

RIGD-LOXIA heeft als doelstelling dat 95% van de BVS oplevering op tijd moeten worden geleverd. Het productieproces van het Voorlopig-BVS zal dus voldoende tijd moeten krijgen dat in 95% van de gevallen het BVS tijdig wordt opgeleverd. RIGD-LOXIA wil dus met 95% zekerheid vast kunnen stellen dat het Voorlopig-BVS binnen deze periode is afgerond. Zie figuur 5.17 voor een visualisatie van deze vraag.



**Figuur 5.17: Doorlooptijd Voorlopig-BVS met een servicegraad van 95%**

De minimale doorlooptijd van het Voorlopig-BVS is berekend in paragraaf 5.3. en heeft een verwachte waarde van  $\mu = 4,25$  week met een standaardafwijking van  $\sigma = 1,05$ . Door de inverse te bepalen van de cumulatieve normale verdeling met de gegeven waardes is het antwoord op deze vraag 5,60 weken. Dus met 95% zekerheid is vast te stellen dat het Voorlopig-BVS binnen 5,60 weken is afgerond. Zodoende kan de waarde van het kritieke levermoment van het SWOD in projectsituatie 2 worden vastgesteld op  $15 + 5,6$  weken = 20,60 weken.

#### Haalbaarheid tijdigheid van overige BVS-en in projectsituatie 2

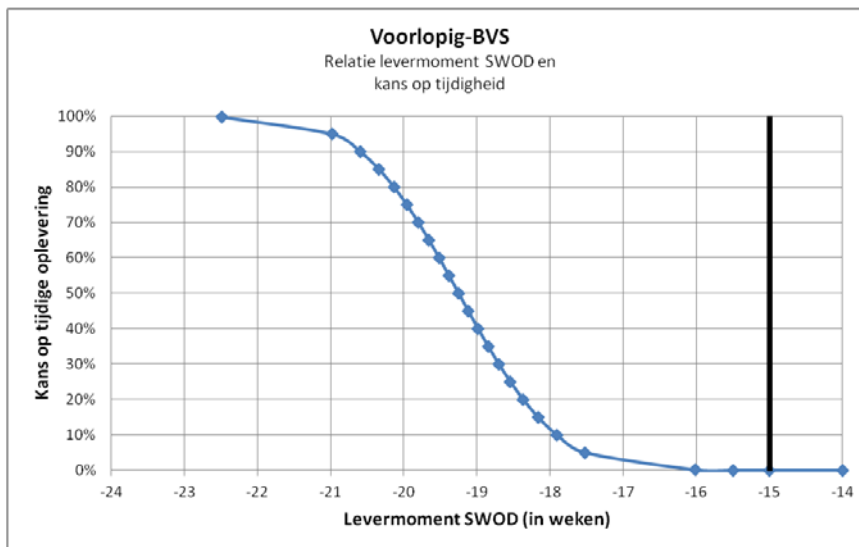
Uitgaande van het kritieke levermoment van 20,60 weken van het SWOD voor de indienststelling is een tijdige levering van het Definitief-BVS ook te garanderen. Net zoals is berekend in projectsituatie 1 is de mogelijke productietijd  $15 - 5 = 10$  weken en is de doorlooptijd om 95% tijdigheid te kunnen garanderen voor het Definitief-BVS vast te stellen op 8,01 weken. De mogelijke productietijd is hiermee ruim voldoende om een tijdige levering van het Definitief-BVS te kunnen garanderen.

Het As-built-BVS vindt plaatst na de indienststelling van het project en staat zoals bij projectsituatie 1 is aangegeven los van het kritieke levermoment van het to-build SWOD. In de vorige paragraaf is berekend dat de mogelijke productietijd van 2 weken die op dit moment beschikbaar is te krap is om tijdige leveringen van het As-built-BVS te kunnen garanderen en dat blijft onveranderd in deze projectsituatie.

#### Relatie levermoment SWOD en kans op tijdigheid

Met de berekening van het kritieke moment is uitgegaan van een vast oplevermoment waarbij met 95% zekerheid is vast te stellen op tijdige levering van de BVS producten. Met de stochastische eigenschappen van het PERT-model kan de exacte relatie tussen het oplevermoment van het SWOD en de kans op tijdige levering van het Voorlopig-BVS inzichtelijk worden gemaakt. Dit is zeer interessant aangezien het SWOD niet op een vast moment bij RIGD-LOXIA wordt aangeleverd. In figuur 5.18 is een grafiek opgesteld waar van ieder levermoment van het SWOD de kans is berekend dat binnen de overgebleven tijd het Voorlopig-BVS kan worden afgerond. Dit kan worden berekend

door de inverse te bepalen bij ieder gevraagde levermoment van de cumulatieve normale verdeling met  $\mu = 4,25$  en  $\sigma = 1,05$ .



**Figuur 5.18: Relatie levermoment SWOD en kans op tijdigheid van het Voorlopig-BVS**

Uit de waarden van figuur 5.18 blijkt dat tijdige oplevering van het Voorlopig-BVS 99,99% kan worden gegarandeerd wanneer het SWOD 22,49 weken of meer voor de indienststelling van het project wordt aangeleverd. Wordt het SWOD bijvoorbeeld 19 weken voor indienststelling opgeleverd aan RIGD-LOXIA is kans geslonken naar 40% om het Voorlopig-BVS tijdig op te leveren. Het procedureel vastgestelde opleverdatum is 15 weken voor de indienststelling dus vanaf dat moment is de kans 0% dat een tijdige oplevering kan worden behaald.

Hiermee is het kritieke levermoment van het SWOD in projectsituatie 2 inzichtelijk gemaakt.

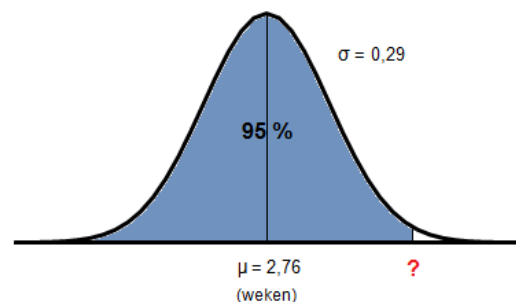
### 5.4.3 Kritieke levermoment SWOD in projectsituatie 3

Tenslotte wordt het kritieke levermoment van het SWOD berekend voor projectsituatie 3, het Alleen Definitief-BVS. Het SWOD komt in deze situatie dusdanig te laat binnen dat alleen het Definitief-SWOD kan worden opgeleverd.

In projectsituatie 3 wordt alleen het Definitief en As-built-BVS opgeleverd. RIGD-LOXIA tracht ook in deze situatie 95% van de BVS-en tijdig op te leveren. Het procedureel vastgestelde levermoment van het Definitief-BVS staat op 5 weken voor de indienststelling van het project. Het kritieke levermoment in deze projectsituatie wordt daarmee:

$$\text{Doorlooptijd Definitief BVS (met servicegraad 95\%)} + 5 \text{ weken}$$

Om de tijdsduur te berekenen waarbij met 95% zekerheid is vast te stellen dat het Definitief-BVS wordt opgeleverd. Zal de tijdsduur moeten worden berekend die visueel wordt weergegeven in figuur 5.19. De minimale doorlooptijd van het Definitief-BVS is berekend in paragraaf 5.3. en heeft een verwachte waarde van  $\mu = 2,76$  week met een standaardafwijking van  $\sigma = 0,29$ . Let wel, dit de doorlooptijd van het Definitief-BVS exclusief de review die gebruikelijk wordt uitgevoerd. Het uitvoeren van een review is in deze situatie namelijk geen tijd voor. Dit is een ongewenste situatie, maar kan niet anders worden opgelost (Donkers, 2015). Door vervolgens de inverse te bepalen van de cumulatieve normale verdeling met de gegeven waarden is het antwoord op deze vraag 3,39 weken. Dus met 95% zekerheid is vast te stellen dat het Definitief-BVS binnen 3,39 weken is afgerond. Zodoende kan de waarde van het kritieke levermoment van het SWOD in projectsituatie 3 worden vastgesteld op  $5 + 3,39$  weken = 8,39 weken.



**Figuur 5.19: Doorlooptijd Definitief-BVS met een servicegraad van 95%**

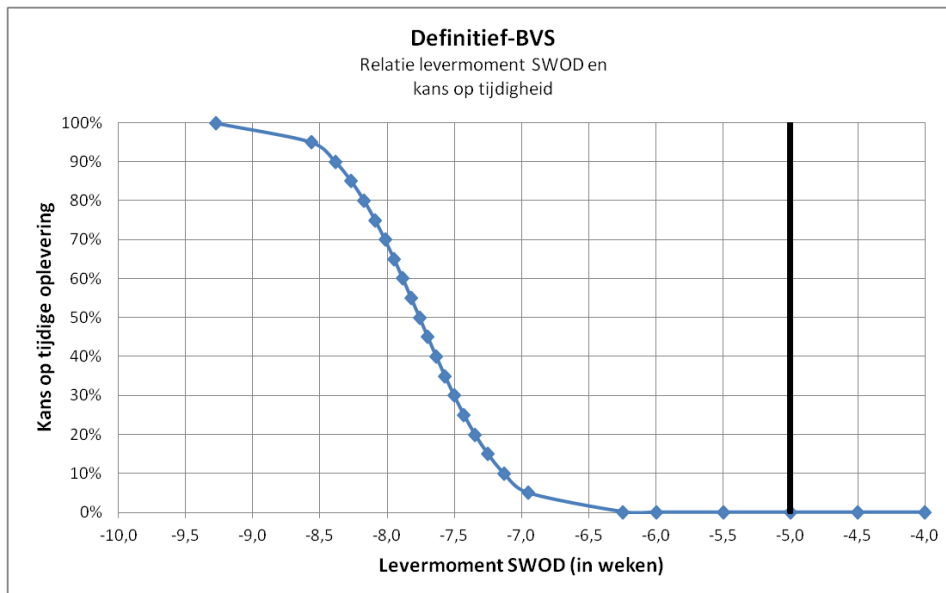
### Haalbaarheid tijdigheid van overige BVS-en in projectsituatie 3

In deze situatie wordt alleen het Definitief-BVS opgeleverd. Het As-built-BVS staat afzonderlijk van de BVS tussenproducten voor de indienststelling en hiervan is al vastgesteld dat de mogelijke productietijd van 2 weken waar op dit moment ruimte voor wordt gemaakt te krap is om tijdige leveringen van het As-built-BVS te kunnen garanderen.

### Relatie levermoment SWOD en kans op tijdigheid

Met de berekening van het kritieke moment is uitgegaan van een oplevermoment waarbij met 95% zekerheid is vast te stellen op tijdige levering van de BVS producten. Met de stochastische eigenschappen van het PERT-model is ook voor het Definitief-BVS in projectsituatie 3 de exacte relatie tussen het oplevermoment van het SWOD en de kans op tijdige levering van het Definitief-

BVS inzichtelijk gemaakt. Dit is zeer interessant aangezien het SWOD niet op een vast moment bij RIGD-LOXIA wordt aangeleverd. In figuur 5.20 is een grafiek opgesteld waar van ieder levermoment van het SWOD de kans is berekend dat binnen de overgebleven tijd het Definitief-BVS kan worden afgerond. Dit kan worden berekend door de inverse te bepalen bij ieder gevraagde levermoment van de cumulatieve normale verdeling met  $\mu = 3,39$  en  $\sigma = 0,29$  en deze doorlooptijd bij het vastgestelde oplevermoment van 5 weken te tellen.



**Figuur 5.20: Relatie levermoment SWOD en kans op tijdigheid van het Definitief-BVS**

Uit de waarden van figuur 5.20 blijkt dat tijdige oplevering van het Definitief-BVS 99,99% kan worden gegarandeerd wanneer het SWOD 9,27 weken of meer voor de indienststelling van het project wordt aangeleverd. Wordt het SWOD bijvoorbeeld 7,5 weken voor indienststelling opgeleverd aan RIGD-LOXIA is kans geslonken naar 30% om het Definitief-BVS tijdig op te leveren. Het procedureel vastgestelde opleverdatum is 5 weken voor de indienststelling dus vanaf dat moment is de kans 0% dat een tijdige oplevering kan worden behaald.

Hiermee is het kritieke levermoment van het SWOD in projectsituatie 3 ook inzichtelijk gemaakt en is zodoende over de gehele tijdsas van iedere situatie waarin een BVS project zich kan bevinden het kritieke levermoment van het SWOD berekend.

## 5.5 Samenvatting en conclusie

In dit hoofdstuk is de vierde subvraag ‘Waar ligt het kritieke levermoment van een SWOD-levering om een tijdige oplevering van het BVS te kunnen garanderen?’ beantwoord door gebruik te hebben gemaakt van de vijf stappen van de PERT-methodiek.

### Minimale doorlooptijden

Allereerst zijn de productiestappen samen met de verwachte tijdsduur van iedere activiteit van een tussenproduct van het BVS in paragraaf 5.2 vastgesteld. Waarmee vervolgens in paragraaf 5.3 de minimale doorlooptijd van ieder

tussenproduct van het BVS is berekend. Een samenvatting van de waarden van de verwachte duur en bijbehorende standaardafwijking staan in tabel 5.15: Met deze waarden en de stochastische eigenschappen van het PERT-model is het kritieke levermoment van het SWOD berekend.

| Minimale doorlooptijd (in weken)       | Verwachte duur ( $\mu$ totaal) | Standaard afwijking ( $\sigma$ totaal) |
|----------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------|
| Concept-BVS                            | 1,18                           | 0,29                                   |
| Voorlopig-BVS                          | 4,25                           | 1,05                                   |
| Definitief-BVS (incl. reviewperiode)   | 4,24                           | 2,94                                   |
| Definitief-BVS (excl. reviewperiode)   | 2,39                           | 0,49                                   |
| As-built-BVS (incl. productie AB-SWOD) | 3,40                           | 1,19                                   |

**Tabel 5.15: Berekende minimale doorlooptijden van ieder tussenproduct van het BVS**

### Kritieke levermomenten van het SWOD

Het kritieke levermoment van het SWOD is het moment van levering van het SWOD aan RIGD-LOXIA zodat een tijdige levering van het BVS is te garanderen. RIGD-LOXIA heeft als doelstelling dat 95% van de BVS opleveringen volgens de vastgestelde procedurele levermomenten moeten worden opgeleverd. Met behulp van statistiek achter het PERT-model is het kritieke levermoment van het SWOD, om een tijdigheid van 95% van de BVS opleveringen te garanderen, vastgesteld op 25,54 weken voor de indienststelling van het project. Dit geldt voor een volledig BVS project waar ieder tussenproduct van het BVS wordt opgeleverd.

Aangezien het SWOD dusdanig te laat kan binnenkomen dat een tussenproduct van het BVS moet worden overgeslagen is voor de overige projectsituaties ook het kritieke levermoment van het SWOD bepaald:

- Kritieke levermoment SWOD in projectsituatie 2, een Voorlopig/Definitief-BVS: 20,6 weken voor de indienststelling.
- Kritieke levermoment SWOD in projectsituatie 3, een Alleen Definitief-BVS: 8,39 weken voor de indienststelling.

Zodoende is over de gehele tijdsas van iedere situatie waarin een BVS project zich kan bevinden het kritieke levermoment van het SWOD inzichtelijk gemaakt.

### Haalbaarheid tijdigheid van ieder tussenproduct van het BVS

Dit hoofdstuk heeft ook bewezen dat, uitgaande het vastgestelde levermoment van het SWOD op 24,54 weken voor de indienststelling, zowel het Concept, Voorlopig als Definitief-BVS op tijd

kunnen worden opgeleverd. De beschikbare productietijd die tussen de tussenproducten van het BVS zit is namelijk groot genoeg om 95% tijdigheid te kunnen garanderen. Dit is bewezen door te laten zien dat de

| Projectsituatie 1<br>(in weken) | Procedureel<br>vastgestelde<br>levermoment | Mogelijke<br>productietijd | $\mu$ totaal<br>(95%<br>service<br>graad) | Plannings-<br>ruimte<br>(slack) |
|---------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|
| Concept-BVS                     | -23                                        | 1,54                       | 1,54                                      | 0,00                            |
| Voorlopig-BVS                   | -15                                        | 9,54                       | 5,60                                      | 3,94                            |
| Definitief-BVS                  | -5                                         | 10                         | 8,01                                      | 1,99                            |
| As-built-BVS                    | +2                                         | 2                          | 4,92                                      | -2,92                           |

**Tabel 5.16: Berekeningen om haalbaarheid tijdigheid van ieder tussenproduct van het BVS inzichtelijk te maken**

doorlooptijden met een servicegraad van 95% groter zijn dan de tijdsduur die mogelijk is om te kunnen produceren. In tabel 5.16 worden deze berekeningen weergegeven.

Voor de productie van het As-built-BVS is echter niet voldoende tijd beschikbaar als de huidige vastgestelde levermomenten worden aangehouden. Het oplevermoment van het As-built-BVS is in de huidige situatie namelijk vastgesteld op 2 weken na de indienststelling. Om 95% tijdigheid van het As-built-BVS te kunnen garanderen is echter 4,92 weken nodig. Uit deze berekeningen kan worden geconcludeerd dat het vastgestelde oplevermoment van 2 weken te vroeg is om het As-built-BVS binnen deze tijd op te kunnen leveren.

### Relatie tussen het oplevermoment van het SWOD en tijdigheid van het BVS

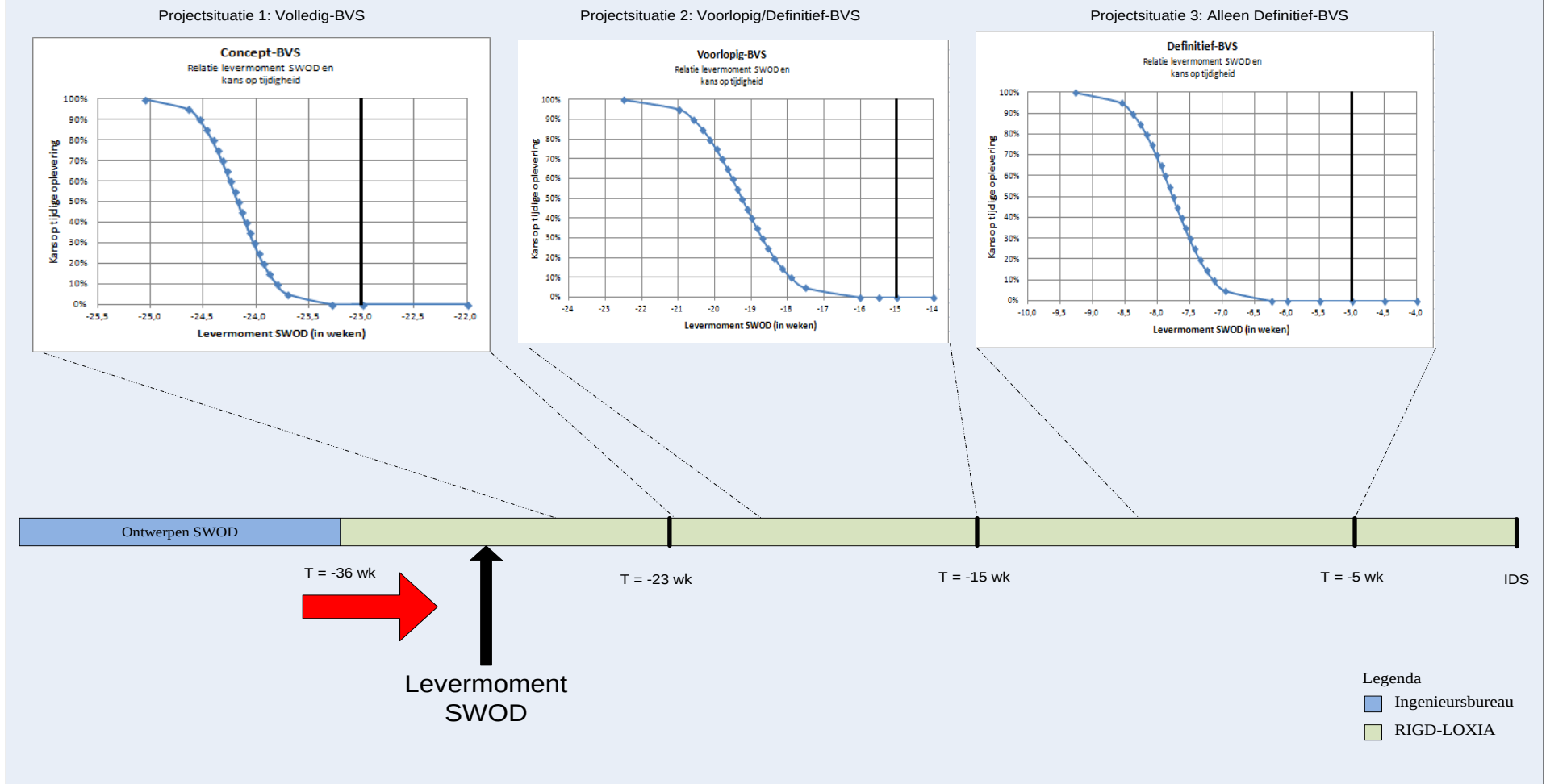
Tenslotte is met behulp van de stochastische eigenschappen van het PERT-model over de gehele tijdsas van een BVS project exact berekend wat de kans op tijdige oplevering is bij ieder oplevermoment van het SWOD. Het SWOD komt namelijk, door uiteenlopende redenen, nooit op een vast moment binnen bij RIGD-LOXIA en hiermee wordt de relatie tussen een te late SWOD oplevering door ingenieursbureaus en een te late BVS-oplevering door RIGD-LOXIA exact inzichtelijk. Te zien is dat een verlate oplevering van het SWOD lang niet in alle gevallen hoeft te leiden tot een verlate BVS oplevering. Deze relatie ligt veel genuanceerder. Zie figuur 5.20.

Voorbeeld 1: Wanneer SWOD binnenkomt op 26 weken voor de indienststelling kan ieder tussenproduct van het BVS op tijd worden opgeleverd. Onder de voorwaarde dat vlak voor een oplevering geen scopewijzigingen plaatsvinden.

Voorbeeld 2: Wanneer het SWOD 24 weken voor de indienststelling binnenkomt is de kans op een tijdige levering van het Concept-BVS 30% , maar kunnen het Voorlopig en Definitief-BVS daarentegen gewoon tijdig worden opgeleverd.

In de praktijk worden deze prestaties van het productieproces echter niet gehaald. Welke achterliggende oorzaken dit probleem veroorzaken wordt in hoofdstuk 6, theorie vs praktijk, onderzocht.

## Relatie tussen levermoment SWOD en kans op tijdigheid BVS over de gehele tijdsas van een project



Figuur 5.20: Relatie tussen levermoment SWOD en kans op tijdigheid BVS over de gehele tijdsas van een project



## 6. Discussie: theorie vs praktijk

De huidig vastgestelde levermomenten zijn samen met de werkelijke doorlooptijden inzichtelijk gemaakt in hoofdstuk4 (praktijk). Ook is het kritieke levermoment van het SWOD samen met de minimale doorlooptijden berekend in hoofdstuk 5(theorie). In dit hoofdstuk worden deze variabelen met elkaar vergeleken om zodoende verschillen tussen de situatie in de praktijk en mogelijkheden volgens de theorie vast te kunnen stellen.

In paragraaf 6.1 wordt antwoordt gegeven op subvraag 5: *Hoe staat het kritieke levermoment van het SWOD in verhouding met het huidig vastgestelde levermoment?*

In paragraaf 6.2 wordt antwoordt gegeven op subvraag 6: *Bestaat er een verschil tussen de werkelijke en minimale doorlooptijden? Zo ja, hoe zijn deze verschillen te verklaren?*

### 6.1 Kritieke vs procedureel vastgestelde levermoment

Deze paragraaf gaat de verschillen onderzoeken tussen het huidig procedureel vastgestelde oplevermoment van het SWOD en het kritieke levermoment die is berekend in het vorige hoofdstuk.

In de huidige situatie zijn de vereisten dat ingenieursbureaus het SWOD 36 weken voor de indienststelling moet opleveren aan RIGD-LOXIA . Zoals gebleken is uit de analyse naar de tijdigheid van SWOD-leveringen wordt 73% te laat opgeleverd aan RIGD-LOXIA (Plandix, 2015). Het feit dat voorafgaand aan dit onderzoek is vastgesteld dat een te late SWOD oplevering als hoofdoorzaak van het probleem wordt gezien voor het te laat opleveren van een BVS is een logische beredenering. RIGD-LOXIA krijgt namelijk wegens te late oplevering van het SWOD minder tijd om te produceren aangezien de indienststellingsdatum van een project altijd vaststaat. Dit heeft tot gevolg dat het productieproces van het BVS in een korter tijdsbestek moet worden uitgevoerd.

Uit dit onderzoek is echter gebleken dat deze oorzaak-gevolg relatie van het probleem een stuk genuanceerder is dan vooraf werd gedacht. Het kritieke levermoment van het SWOD om een tijdigheid van 95% van het BVS te garanderen is namelijk vastgesteld op 25,54 weken voor de indienststelling en ligt daarmee een stuk dichterbij de indienststellingsdatum dan het huidig procedureel vastgestelde oplevermoment van 36 weken. Het SWOD kan dus 10,47 weken later worden opgeleverd aan RIGD-LOXIA om nog tijdige BVS opleveringen te kunnen garanderen.

Door gebruik te maken van de PERT-methodiek en de statistische eigenschappen achter het model is de tijdigheid van een SWOD levering beter en exacter te beoordelen. In de huidige situatie wordt een SWOD levering namelijk als te laat bestempeld wanneer het later dan de afgesproken tijd van 36 weken wordt opgeleverd aan RIGD-LOXIA. Met behulp van dit onderzoek is bij elk oplevermoment van het SWOD te bepalen wat de kans is op tijdige levering van het BVS. In het vorige hoofdstuk is

deze relatie weergegeven in figuur 5.20. In tabel 6.1 is het verschil tussen de huidige en nieuwe situatie samengevat.

| Huidige situatie                         |            | VS | Inzichten door PERT-model                                 |                                  |
|------------------------------------------|------------|----|-----------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Procedureel vastgesteld levermoment SWOD | - 36 weken |    | Kritieke levermoment SWOD in:<br>(met 95% tijdigheid BVS) | Projectsituatie 1 : -24,54 weken |
| Te laat?                                 | < 36 weken |    |                                                           | Projectsituatie 2: -20,60 weken  |
|                                          |            |    |                                                           | Projectsituatie 3: -8,39 weken   |

**Tabel 5.20: Verschil beoordeling tijdigheid SWOD tussen huidige situatie en inzichten verkregen via PERT-model**

#### Procedureel vastgestelde oplevermoment verplaatsen of niet?

Als het management van RIGD-LOXIA zou besluiten om het huidig vastgestelde oplevermoment 36 weken op te schuiven, krijgen ingenieursbureaus meer tijd om het SWOD te produceren. Dit zou een gunstig effect moeten hebben op de tijdigheid van SWOD opleveringen aan RIGD-LOXIA, met als gevolg dat het productieproces van het BVS meer rust krijgt (minder onverwachtse wijzigingen in de planning), omdat de SWOD's op de afgesproken tijden binnenkomen. Hierbij kan echter ook een kanttekening worden geplaatst aangezien ingenieursbureaus in de huidige situatie bijna zelf bepalen wanneer ze het SWOD opleveren aan RIGD-LOXIA omdat de oplevermomenten niet contractueel zijn en kunnen worden vastgelegd. Wanneer RIGD-LOXIA ingenieursbureaus teveel ruimte geeft om het SWOD op te kunnen leveren zou het zelfs kunnen leiden dat SWOD opleveringen nog later binnenkomen dan op dit moment wordt gedaan. Mijn advies is op basis van deze beweegredenen om het procedureel vastgestelde oplevermoment tussen de 36 en 25,54 weken vast te leggen.

Hiermee is inzichtelijk gemaakt hoe het kritieke levermoment zich verhoudt met het huidig procedureel vastgestelde levermoment van 36 weken voor de indienststelling van het project.

## 6.2 Werkelijke vs minimale doorlooptijden

In deze paragraaf wordt een vergelijking gemaakt tussen de werkelijke en minimale doorlooptijden van de tussenproducten van het BVS en zullen voor de eventuele verschillen verklaringen worden gezocht.

In de vorige paragraaf is inzichtelijk gemaakt dat de oorzaak-gevolg relatie tussen een te laat opgeleverd SWOD en een te laat opgeleverd BVS een stuk genuanceerder is dan vooraf werd gedacht. Een te laat opgeleverd SWOD volgens de huidige vastgestelde procedures hoeft namelijk lang niet altijd tot een te laat opgeleverd BVS te leiden. Deze conclusie bewijst dat de prestaties die op dit moment worden gehaald door het BVS proces ondermaats zijn en andere achterliggende problemen een te laat opgeleverd BVS veroorzaken. Deze paragraaf probeert het probleem te identificeren door de werkelijke doorlooptijden te vergelijken met de minimale doorlooptijden van het productieproces van het BVS.

Deze paragraaf is op de volgende manier gestructureerd:

- Paragraaf 6.2.1
  - o Allereerst wordt het verschil tussen werkelijke en minimale doorlooptijden berekend en visueel inzichtelijk gemaakt.
- Paragraaf 6.2.2
  - o Vervolgens wordt in deze subparagraaf gezocht naar een verklaring voor de gevonden verschillen tussen werkelijke en minimale doorlooptijden.
- Paragraaf 6.2.3
  - o Om de analyse te complementeren wordt voor het geïdentificeerde probleem oplossingen aangedragen wat als basis kan fungeren voor toekomstige onderzoeken.

Na deze paragraaf is het verschil tussen de werkelijke en minimale doorlooptijden verklaard.

## 6.2.1 Waarnemingen

In deze subparagraaf wordt het verschil tussen de minimale en werkelijke doorlooptijden inzichtelijk gemaakt via een tabel en een schematische weergave. Voor de analyse is gekozen om te kijken naar BVS-en die zich bevinden in projectsituatie 1. In deze projectsituatie is iedere tussenproduct van het BVS opgeleverd. De waarden zijn gemiddeldes van alle BVS-en van 2014 waarvan ieder tussenproduct is opgeleverd (analyse BVS oplevermomenten, 2015). Van ieder tussenproduct zijn de volgende variabelen berekend:

- Gemiddelde werkelijke oplevermoment
- Procedureel vastgestelde levermoment
- Mogelijke productietijd (tijd die beschikbaar was om het BVS tijdig op te leveren)
- Hoeveel weken het tussenproduct, gemiddeld gezien, te laat is opgeleverd
- Werkelijke doorlooptijden
- Minimale doorlooptijden, met een servicegraad van 95%

De berekeningen van deze waarden hebben geleid tot de waarden die staan in tabel 5.20. Alle waarden zijn in weken en een week bestaat uit 5 werkdagen.

| Projectsituatie 1:<br>(in weken) | Gemiddelde werkelijke oplevermomenten | Procedureel geëiste oplevermomenten | Mogelijke productietijd | Gemid. te laat | Werkelijke doorlooptijd | Minimale doorlooptijd (95% servicegraad) | Was tijdige levering mogelijk? | Tijdigheid behaald? |
|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|----------------|-------------------------|------------------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| 1. SWOD - IDS                    | -25,82                                | -36                                 | -                       | 10,18          | -                       | -                                        | -                              | -                   |
| 2. Concept-BVS - IDS             | -20,64                                | -23                                 | 2,82                    | 2,36           | 5,19                    | 1,54                                     | ja, 100%                       | Nee                 |
| 3. Voorlopig BVS - IDS           | -12,87                                | -15                                 | 10,82                   | 2,13           | 12,95                   | 5,60                                     | ja, 100%                       | Nee                 |
| 4. Definitief BVS - IDS          | -3,69                                 | -5                                  | 7,87                    | 1,31           | 9,18                    | 8,01                                     | ja, 89%                        | Nee                 |
| 5. IDS                           | -                                     | -                                   | -                       | -              | -                       | -                                        | -                              | -                   |
| 6. IDS - As-built BVS            | 4,59                                  | 2                                   | n.b.                    | 2,59           | 4,59                    | 4,92                                     | Nee                            | Nee                 |

Tabel 5.21: Waarden van alle oplevermomenten van ieder tussenproduct van het BVS in projectsituatie 1

Uit deze tabel is te zien dat de mogelijk productietijd die RIGD-LOXIA beschikbaar had, voldoende was om tijdige opleveringen van het BVS te kunnen realiseren. De minimale doorlooptijden (kolom 6) die zijn berekend in hoofdstuk 5 waarmee 95% van de BVS-en tijdig kunnen worden opgeleverd is namelijk kleiner dan de tijdsduur die beschikbaar was om te kunnen produceren (kolom 4). Echter is dit niet gebeurd en is gemiddeld gezien ieder tussenproduct van het BVS tussen de 1,31 en 2,6 weken later opgeleverd. Voor zowel het Concept, Voorlopig en Definitief-BVS waren tijdige leveringen mogelijk. Er blijkt zelfs voldoende planningsruimte beschikbaar te zijn om met 100% zekerheid vast te kunnen stellen dat het Concept-BVS en Voorlopig-BVS tijdig worden opgeleverd. Tenslotte bevestigen deze waarden wederom dat voor het As-built-BVS daarentegen te weinig tijd beschikbaar is om tijdige oplevering te kunnen garanderen.

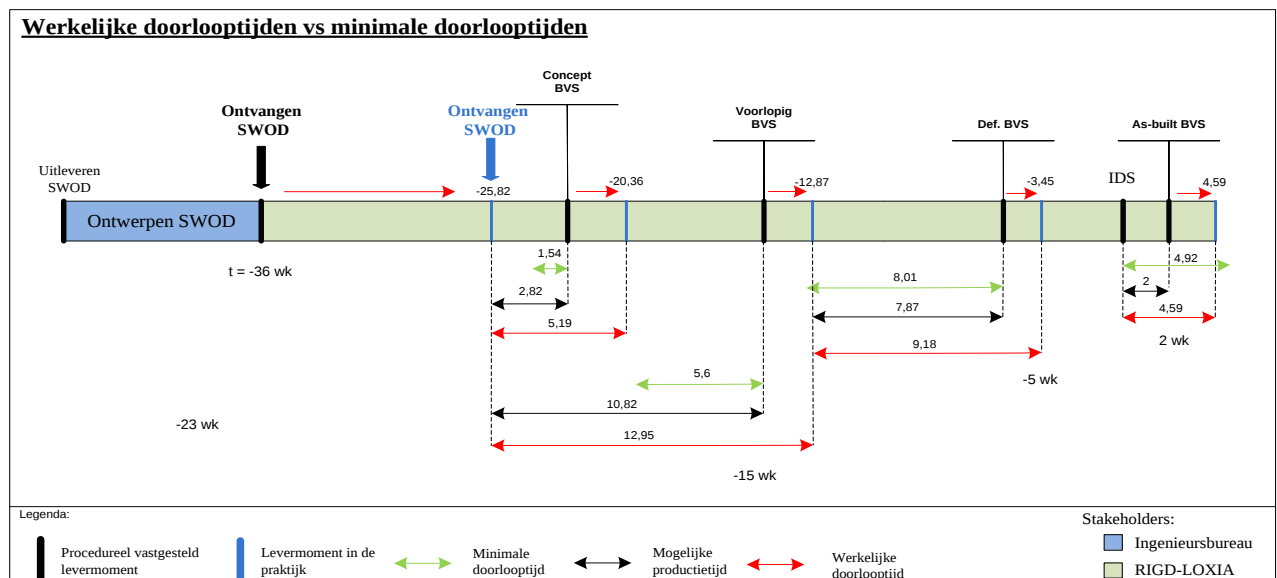
Uit deze cijfers kan niet anders worden geconcludeerd dat het productieproces van het BVS door nog vast te stellen oorzaken ondermaats presteert en niet te late opleveringen van het SWOD de hoofdoorzaak is voor een te laat opgeleverd BVS. Een directe vergelijking tussen de minimale en werkelijke doorlooptijden bevestigt deze relatie.

| Projectsituatie 1:<br>(in weken) | Werkelijke<br>doorlooptijd | Minimale doorlooptijd<br>(95% servicegraad) | Verskil |
|----------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------|---------|
| Concept-BVS                      | 5,19                       | 1,54                                        | 3,65    |
| Voorlopig-BVS                    | 12,95                      | 5,60                                        | 7,35    |
| Definitief-BVS                   | 9,18                       | 8,01                                        | 1,17    |
| As-built-BVS                     | 4,59                       | 4,92                                        | -0,33   |

**Tabel 5.21: Vergelijking tussen werkelijke en minimale doorlooptijden van ieder tussenproduct van het BVS**

Uit tabel 5.21 is te zien dat de minimale doorlooptijden (met 95% servicegraad) van het Concept, Voorlopig en Definitief-BVS veel korter zijn dan de werkelijke doorlooptijden. Dit is ontzettend ruim aangezien met de berekende verwachte doorlooptijd al ruimschoots rekening is gehouden om mogelijke verstoringen tijdens het productieproces op te kunnen vangen om 95% van de BVS-en tijdig op te kunnen leveren.

Door nog vast te stellen oorzaken zijn de doorlooptijden van het BVS in de huidige situatie langer zijn dan nodig is. In de volgende paragraaf wordt geprobeerd achterliggende oorzaken vast te stellen die dit probleem veroorzaken. In figuur 5.21 is een samenvatting gemaakt van deze inzichten door het te visualiseren in een schematische weergave.



**Figuur 5.21: Schematische weergave verschil tussen minimale, mogelijke en werkelijke doorlooptijden**

## 6.2.2 Verklaring lange doorlooptijden

De te lange doorlooptijden die het productieproces van het BVS op dit moment voorbrengt zijn geïdentificeerd. In deze paragraaf wordt via Little's Law gezocht naar de achterliggende oorzaken van lange doorlooptijden en mogelijke oplossingen om doorlooptijden te verkorten.

### Little's Law

Little's Law is een theorie bedacht door John Little in 1961 en gaat over de doorlooptijden van een productieproces. De theorie beschrijft drie variabelen in een fundamentele relatie tot elkaar. De formule van Little's Law is (Wescott, 2014):

$$\text{Doorlooptijd (DLT)} = \frac{\text{Onderhandenwerk (OHW)}}{\text{Productiesnelheid (TH)}}$$

Little's Law bewijst met deze relatie dat het beïnvloeden van één van de bovengenoemde factoren invloed uitoefent op de overige twee factoren. Op dit moment zijn de doorlooptijden van het BVS te lang.

### Oorzaken volgens theorie:

Door gebruik te maken van de formule van Little's Law worden lange doorlooptijden veroorzaakt door:

- teveel onderhandenwerk op de productievloer
- te lage productiesnelheid

### Oplossingen volgens theorie:

Door gebruik te maken van de formule van Little's Law kan reductie van de doorlooptijden worden gerealiseerd wanneer of het onderhandenwerk (OHW) wordt verlaagd of de productiesnelheid (TH) wordt verhoogd.

In de praktijk betekent het verhogen van productiesnelheid al snel het verhogen van de capaciteit. Het verhogen van de capaciteit is te realiseren door het aannemen van meer personeel dan wel het aanschaffen van machines en is daarmee een dure oplossing.

De voorkeur ligt daarom bij het verlagen van het onderhandenwerk op de productievloer om een reductie van de doorlooptijden te realiseren. Naast het feit dat het verlagen van onderhandenwerk de doorlooptijden zal verkorten, heeft het ook de volgende additionele positieve effecten:

- het verhogen van de productiviteit, omdat minder hoeft te worden geswitcht in opdrachten
- het productieproces is niet overbelast, waardoor producten lang in een wachtrij zitten
- evenredige werkbelasting
- er hoeft minder tijd te worden besteed aan het prioriteren van producten

### Kenmerken van een productieproces waar het onderhandenwerk te hoog is

Een productieproces waar het onderhandenwerk op de productievloer te hoog is kan worden gekenmerkt aan: geen tijdige leveringen (lage servicegraad), geen gevoel van controle over het proces, ontevreden klanten, ontevreden werknemers en tenslotte ontevreden managers. Het verband met ontevreden werknemers en managers is in eerste instantie niet snel gelegd, maar wanneer het onderhandenwerk hoog is zullen werknemers constant moeten wisselen van taken aangezien telkens producten met een hogere prioriteit worden doorgedrukt op de productievloer. Dit vergroot de doorlooptijd, maar het voelt daarbij ook chaotisch en inefficiënt voor zowel de medewerker als de managers die het proces aansturen (Harris, 2010).

Om vast te kunnen stellen of deze kenmerken ook van toepassing zijn op het productieproces van het BVS bij RIGD-LOXIA zijn drie ervaren BVS-redacteuren geïnterviewd en twee managers die het proces aansturen (Lammers & Schoorlemmer, persoonlijke communicatie, 2015). Zij bevestigden deze probleemidentificatie waardoor het probleem van te late opleveringen van het BVS vanuit een nieuwe invalshoek kan worden bekeken en waarbij nieuwe mogelijke oplossingen aan zijn verbonden.

Om dit onderzoek te complementeren is in paragraaf 6.2.3 een eerste opzet gemaakt van mogelijke oplossingen die gerelateerd zijn aan deze nieuwe inzichten.

### 6.2.3 Eerste opzet oplossingen

Door gebuikt te maken van de formule van Little's Law is reductie van de doorlooptijd mogelijk door het onderhandenwerk (OHW) te verlagen en/of de productiesnelheid (TH) te vergroten. In subparagraaf 6.2.3.1 wordt een eerste opzet gemaakt om het onderhandenwerk op de productievloer te verlagen waarnaar in 6.2.3.2 de mogelijkheden worden beschreven om de productiesnelheid te vergroten.

#### 6.2.3.1 Het onderhandenwerk verlagen

In de huidige situatie is het productieproces van het BVS overbelast en liggen er teveel onafgemaakt BVS-en verspreidt op de productievloer. Dat dit door de jaren heen zo is ontstaan is verklaarbaar aangezien ver voor de indienststelling van het project al tussenproducten moeten worden opgeleverd. Op dit moment wordt er geen limiet gesteld op de introductie van producten op de productievloer. Om de doorlooptijden van het BVS te verlagen zal in de nieuwe situatie het proces zo moeten worden ingericht dat het onderhandenwerk wat zich op dit moment op de productievloer bevindt kan worden weggewerkt. Dit is mogelijk door een periode te stoppen met het introduceren van werk op de productievloer. Uit praktijkervaringen wordt geadviseerd om te beginnen met een periode wat gelijk staat aan de helft van de doorlooptijd van het product, het BVS in dit geval (Whitt, 2013). Het is ook mogelijk voor een periode extra personeel aan te nemen om het huidige onderhandenwerk weg te werken. Dit is echter een duurdere oplossing.

Tenslotte kan het onderhandenwerk op de productievloer ook worden beheerst door gebruikt te maken van Kanban of CONWIP. In dit onderzoek worden deze methodes alleen aangereikt en kort toegelicht. Het daadwerkelijk uitvoeren van deze methodieken kan in vervolgonderzoeken worden uitgevoerd.

- CONWIP - is een krachtige methode voor werklustbeheersing en staat voor CONstant Work In Process. Door het gebruik van CONWIP gelden expliciete spelregels voor de hoeveelheid orders, producten of diensten waaraan gelijktijdig in het productieproces gewerkt wordt.
- Kanban - is een systeem om te signaleren (met bijvoorbeeld productiekaarten) wanneer iets nodig is. Op deze manier wordt het onderhandenwerk beheerst.

### 6.2.3.2 Het verhogen van de productiesnelheid

Drie oplossingen die een positief effect hebben op de productiesnelheid worden in deze subparagraaf voorgedragen. Allereerst een eenvoudige oplossing door meer BVS-redacteuren aan te nemen. Deze optie maakt voornamelijk het gebruik van de formule van Little's Law inzichtelijk. Ten tweede door BVS-redacteuren de verantwoordelijkheid te geven over een extra Verkeersleidingspost en ten slotte de mogelijkheden om het productieproces te crashen.

Om de verbetervoorstellen kwantificeerbaar te maken is gebruik gemaakt van een theoretische praktijksituatie waar 4 Verkeersleidingsposten bestaan en per week 2 BVS-en kunnen worden geproduceerd per BVS-redacteur. De huidige voorraad per Verkeersleidingspost is ook bekend en de doorlooptijd voor het BVS die op de productievloer binnenkomt (gele unit) wordt samen met de bezettingsgraad van het proces in de huidige situatie berekend.

Huidige fictieve situatie:

| Aankomst<br>nieuwe BVS<br>order | Huidige<br>voorraad | Onderhanden<br>werk (OHW) |   | Verkeers-<br>leidingspost | Productiesnelheid<br>(TH) |   | Doorlooptijd (DLT) | Bezettingsgraad over deze periode |
|---------------------------------|---------------------|---------------------------|---|---------------------------|---------------------------|---|--------------------|-----------------------------------|
| 1                               | 11                  | 12                        | ➡ | Utrecht                   | 2 BVS per week            | ➡ | 12/2= 6 weken      | 6 van de 6 weken bezig is 100%    |
| 1                               | 5                   | 6                         | ➡ | Amsterdam                 | 2 BVS per week            | ➡ | 6/2= 3 weken       | 3 van de 6 weken bezig is 50%     |
| 1                               | 3                   | 4                         | ➡ | Rotterdam                 | 2 BVS per week            | ➡ | 4/2= 2 weken       | 2 van de 6 weken bezig is 33,3%   |
| 1                               | 1                   | 2                         | ➡ | Zwolle                    | 2 BVS per week            | ➡ | 2/2= 1 week        | 1 van de 6 weken bezig is 16,7%   |

**Figuur 6.1: Fictieve situatie productieproces van het BVS bij RIGD-LOXIA**

### Het aannemen van extra personeel

Wanneer voor elke Verkeersleidingspost een extra BVS-redacteur wordt aangenomen wordt de productiesnelheid per post verdubbeld naar 4 BVS-en per week. Dit heeft tot gevolg dat de doorlooptijd van het BVS wordt verkort. De formule van Little's Law laat dit mooi zien. De berekening van de doorlooptijd in dit eenvoudige voorbeeld wordt:

$$\text{Doorlooptijd (DLT)} = \frac{OHW}{TH} = \frac{12}{4} = 3 \text{ weken}$$

En is daarmee twee keer zo kort dan de huidige situatie. De bezettingsgraad wordt met het aannemen van extra personeel daarentegen niet verbeterd. De nieuwe situatie ziet er dan als volgt uit:

| Aankomst<br>nieuwe BVS<br>order | Huidige<br>voorraad | Onderhanden<br>werk (OHW) |   | Verkeers-<br>leidingspost | Productiesnelheid<br>(TH) |   | Doorlooptijd (DLT) | Bezettingsgraad over deze periode |
|---------------------------------|---------------------|---------------------------|---|---------------------------|---------------------------|---|--------------------|-----------------------------------|
| 1                               | 11                  | 12                        | ➡ | Utrecht                   | 4 BVS per week            | ➡ | 12/4= 3 weken      | 3 van de 3 weken bezig is 100%    |
| 1                               | 5                   | 6                         | ➡ | Amsterdam                 | 4 BVS per week            | ➡ | 6/4= 1,5 week      | 1,5 van de 3 weken bezig is 50%   |
| 1                               | 3                   | 4                         | ➡ | Rotterdam                 | 4 BVS per week            | ➡ | 4/4= 1 week        | 1 van de 3 weken bezig is 33,3%   |
| 1                               | 1                   | 2                         | ➡ | Zwolle                    | 4 BVS per week            | ➡ | 2/4= 0,5 week      | 0,5 van de 3 weken bezig is 16,7% |

**Figuur 6.2: Fictieve situatie productieproces van het BVS bij RIGD-LOXIA na invoering verbeter voorstel**

### Verantwoordelijkheden BVS-redacteur vergroten

In de huidige situatie is iedere Verkeersleidingspost gekoppeld aan een BVS-redacteur. Een BVS-redacteur is dus alleen verantwoordelijk voor zijn eigen post. In het verleden is hiervoor gekozen aangezien op deze manier de kwaliteit van het BVS kan worden gewaarborgd. BVS-redacteurs hoeven zich namelijk niet opnieuw in te lezen over de stand van zaken van een andere post. (Lammers, persoonlijke communicatie, 2015). Wanneer de verantwoordelijkheid van een BVS-redacteur wordt vergroot naar twee verkeersleidingsposten zal dit groot effect hebben op zowel de doorlooptijd van het BVS als de bezettingsgraad. De nieuwe situatie ziet er als volgt uit:

| Aankomst<br>nieuwe BVS<br>order | Huidige<br>voorraad | OHW<br>Poule |   | Verkeers-<br>leidingspost | Productiesnelheid (TH) |   | Doorlooptijd (DLT) | Bezettingsgraad over deze periode   |
|---------------------------------|---------------------|--------------|---|---------------------------|------------------------|---|--------------------|-------------------------------------|
| 1                               | 11                  | 18           | ➡ | Utrecht                   | 4 BVS per week         | ➡ | 18/4= 4,5 weken    | 4,5 van de 4,5 weken bezig 100%     |
| 1                               | 5                   |              |   | Amsterdam                 |                        |   |                    |                                     |
|                                 |                     |              |   |                           |                        |   |                    |                                     |
| 1                               | 3                   | 6            | ➡ | Rotterdam                 | 4 BVS per week         | ➡ | 6/1,5= 1,5 week    | 1,5 van de 4,5 weken bezig is 33,3% |
| 1                               | 1                   |              |   | Zwolle                    |                        |   |                    |                                     |

**Figuur 6.3: Fictieve situatie productieproces van het BVS bij RIGD-LOXIA na invoering verbeter voorstel**

In de nieuwe situatie is te zien dat wanneer deze aanpassing wordt ingevoerd het een positief effect heeft op zowel de doorlooptijd en bezettingsgraad van het productieproces. De binnenkomende orders kunnen in deze situatie namelijk worden opgedeeld in twee poules: Utrecht/Amsterdam & Rotterdam/Zwolle. De productiesnelheid om deze poule aan orders te verwerken is 4 BVS-en per week wat leidt tot de verbeterde waarden in figuur 6.3.

### Crashen proces m.b.v. Lineair Programmeren

Aangezien in dit onderzoek de activiteiten van het productieproces van het BVS samen met het kritieke pad en tijdsduur berekend zijn met het PERT-model is het ook mogelijk om de doorlooptijd van het productieproces te verkorten door per activiteit te kijken naar de mogelijkheden om deze te versnellen. Om dit te kunnen uitvoeren zal per activiteit de volgende variabelen moeten worden gewaardeerd:

- Maximale duur om de activiteit te verkorten
- Kosten per tijdseenheid om de activiteit te verkorten.

De doorlooptijd van een productieproces is alleen te verkorten wanneer activiteiten op het kritieke pad worden verkort. Met een LP-model, Lineair Programmeren, is het mogelijk om voor een gevraagde doorlooptijd exact te berekenen welke activiteiten, met welke hoeveelheid moeten worden gecrasht tegen minimale kosten (Foya, 2013). Het LP-model zal RIGD-LOXIA de meest effectieve oplossing aanreiken om het productieproces binnen de gevraagde tijdsduur af te kunnen ronden en daarmee de doorlooptijd van het productieproces te verkorten.

Hiermee zijn verschillende oplossingen aangereikt om doorlooptijden van het BVS te verkorten. In het volgende en laatste hoofdstuk worden de eindconclusies van dit onderzoek samen met aanbevelingen opgesteld.

## 7. Conclusie en aanbevelingen

Het management van RIGD-LOXIA wilde weten wat kritieke levermoment van het SWOD is en de haalbaarheid en juistheid onderzoeken van de huidige vastgestelde oplevermomenten van het BVS

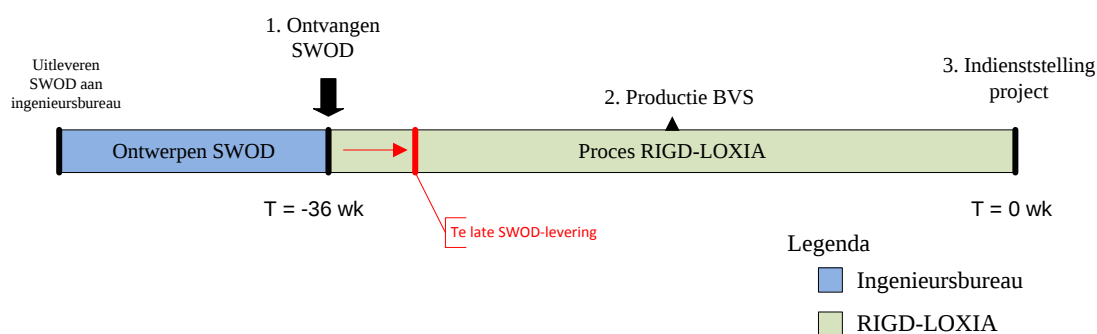
### Introductie

RIGD-LOXIA is producent en beheerder van infragegevens. In de huidige situatie worden deze infragegevens niet tijdig opgeleverd aan de klanten van RIGD-LOXIA. Een voorbeeld van infragegevens is het Bedieningsvoorschrift (BVS). Het BVS is een handleiding voor treindienstleiders en bevat specifieke bedienprocedures. Het is belangrijk dat het BVS op tijd wordt opgeleverd bij treindienstleiders omdat ze anders onvoldoende tijd hebben om zich voor te bereiden op wijzigingen en/of bijzonderheden van het nieuwe spoortraject.

### Probleembeschrijving

Het probleem is dat in de huidige situatie het BVS niet op tijd wordt opgeleverd. Op dit moment wordt een servicegraad van ~30% behaald. De oorzaak van een te late BVS oplevering wordt gelegd bij het te laat ontvangen van de input om de productie van het BVS te kunnen starten. De input waar het BVS van afhankelijk is, is het Seinwezen Overzichts Dossier (hierna: SWOD). Het SWOD, de belangrijkste ‘grondstof’ van het BVS, wordt in 73% van de gevallen te laat aan RIGD-LOXIA opgeleverd.

Dit is een groot probleem aangezien RIGD-LOXIA hierdoor minder tijd heeft om te produceren omdat de indienststellingsdatum van een project altijd vast staat. De indienststellingsdatum is het moment waar het project, bijvoorbeeld een nieuw spoor, klaar is voor gebruik. Dit heeft als gevolg dat het productieproces van RIGD-LOXIA in een korter tijdsbestek moet worden uitgevoerd. Hierdoor komt de productie bij RIGD-LOXIA onder druk te staan en is het voor RIGD-LOXIA niet altijd mogelijk om het productieproces dusdanig te versnellen om de opgelopen vertraging in de procesketen goed te maken. In figuur 7.1 wordt dit in beeld gebracht:



**Figuur 7.1:** Schematische weergave van het probleem dat het SWOD te laat binnenkomt bij RIGD-LOXIA

## Onderzoeksvraag

Een van de oorzaken dat het SWOD te laat wordt opgeleverd is dat het SWOD ver voor de indienststelling van het project moet worden aangeleverd aan RIGD-LOXIA, namelijk 36 weken. Dit oplevermoment is procedureel vastgesteld om weer het BVS op tijd op te kunnen leveren. Het BVS moet namelijk ook ver voor de indienststelling worden opgeleverd. Het management wil weten of de huidige vastgestelde oplevermomenten wel juist en haalbaar zijn. Ook is op dit moment niet inzichtelijk op welk moment het SWOD daadwerkelijk te laat binnenkomt om tijdige levering van het BVS te kunnen garanderen. Zodoende is de hoofdvraag van het onderzoek vastgesteld op:

*Waar ligt het kritieke levermoment van het SWOD en wat is de haalbaarheid van de huidige vastgestelde levermomenten van het BVS?*

## Onderzoeksstappen

Om op deze vraag antwoord te kunnen geven zijn de volgende variabelen berekend:

4. Allereerst de huidige procedureel vastgestelde oplevermomenten van het SWOD en BVS
5. Vervolgens de werkelijke oplevermomenten en doorlooptijden van het SWOD en BVS
6. Tenslotte de minimale doorlooptijden van het productieproces van het BVS

Door deze variabelen met elkaar te vergelijken kan de haalbaarheid van de huidige vastgestelde levermomenten worden beoordeeld en het kritieke levermoment van het SWOD worden vastgesteld.

## Korte introductie BVS product

Voordat deze stappen worden uitgevoerd is het allereerst handig te weten uit welke tussenproducten het BVS bestaat en hoe deze worden genoemd.

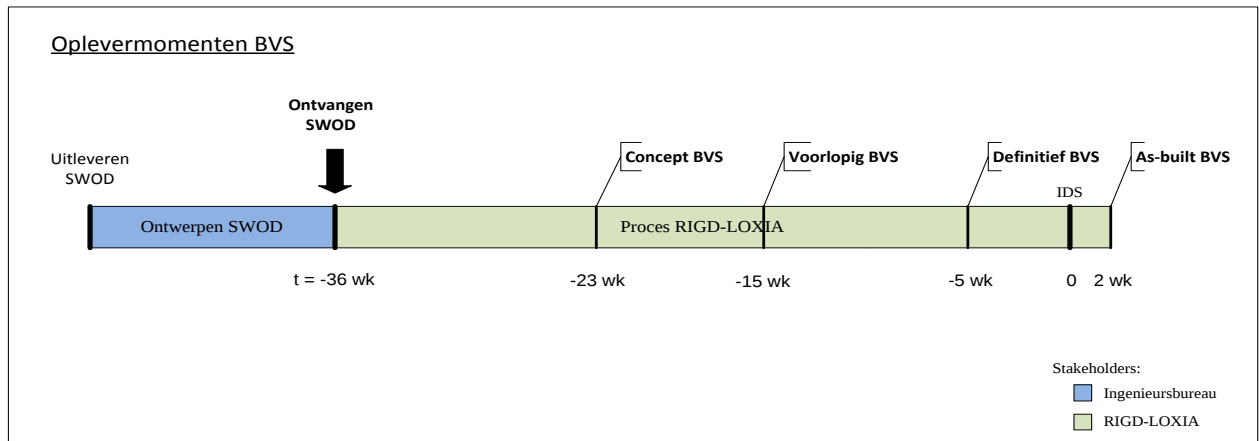
Het BVS heeft vier tussenproducten: drie tussenproducten voor de indienststelling van het project en één erna. De vier tussenproducten hangen af van het moment dat ze moeten worden opgeleverd voor of na de indienststelling en heten:

1. Het **Concept-BVS**
2. Het **Voorlopig- BVS**
3. Het **Definitief-BVS**
4. Het **As-built-BVS**

Nu de tussenproducten van het BVS bekend zijn kan worden gestart met uitvoeren van de gedefinieerde onderzoekstappen.

### Stap 1: huidig procedureel vastgestelde oplevermomenten van het SWOD en BVS

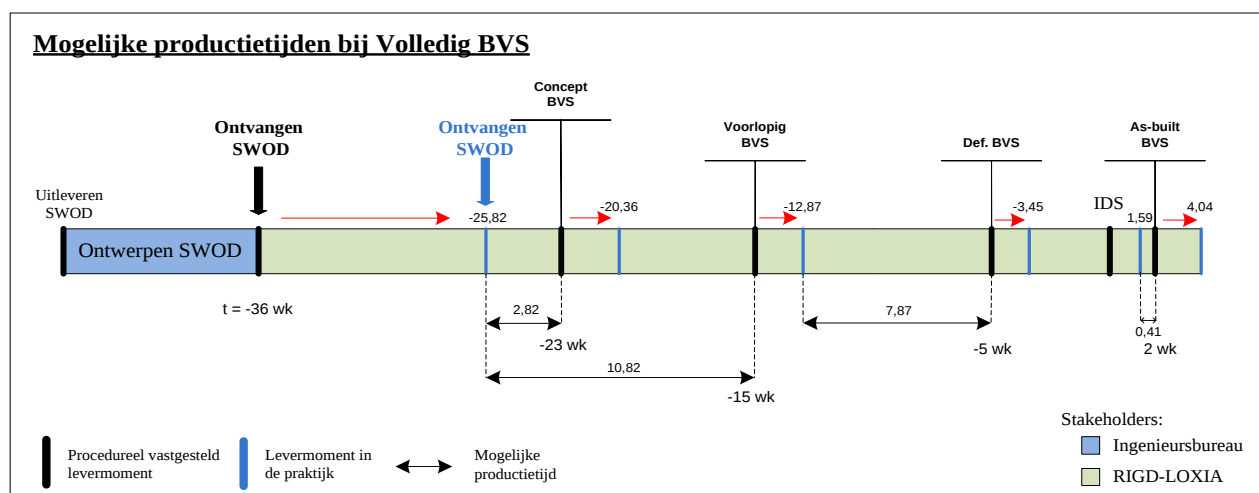
De procedureel vastgestelde oplevermomenten zijn gevonden officiële procedure documenten van ProRail (PRC0029, 2010) en zijn ter verduidelijking geplaatst in dezelfde schematische weergave waarin het probleem visueel is weergegeven. Zie figuur 7.2.



Figuur 7.2: Procedureel vastgestelde oplevermomenten van het SWOD en tussenproducten van het BVS

### Stap 2: het inzichtelijk maken van de werkelijke oplevermomenten en doorlooptijden van het SWOD en BVS

Om de werkelijke oplevermomenten en doorlooptijden van het SWOD en BVS inzichtelijk te maken zijn van alle BVS projecten in het jaar 2014 de gemiddeldes berekend van elk oplevermoment in relatie tot de indienststellingsdatum van het project. Ook deze waarden zijn weer geplaatst in dezelfde schematische weergave. Zie figuur 7.3.



Figuur 7.3: Schematische weergave inclusief werkelijke oplevermomenten en mogelijke productietijden

Uit figuur 7.3 zijn een aantal eerder benoemde problemen te herkennen. Allereerst dat het SWOD veel te laat wordt aangeleverd aan RIGD-LOXIA, gemiddeld gezien op 25,92 weken voor de indienststelling. Ook dat RIGD-LOXIA ieder tussenproduct van het BVS te laat oplevert.

Uit figuur 7.3 is ook af te lezen wat de mogelijke productietijd was die RIGD-LOXIA tot zijn beschikking had om het BVS nog tijdig op te leveren (zie zwarte pijlen). Hiervan is af te lezen dat ondanks het feit dat het SWOD gemiddeld gezien 10,18 weken later wordt opgeleverd aan RIGD-LOXIA, RIGD-LOXIA nog steeds productietijd overheeft om een tussenproduct van het BVS tijdig op te leveren. Deze inzichten zijn een eerste indicatie dat de oorzaak-gevolg relatie tussen een te laat opgeleverd SWOD en een te laat opgeleverd BVS een stuk genuanceerder is dan voor dit onderzoek werd gedacht. Om vast te kunnen stellen of er daadwerkelijk voldoende tijd beschikbaar was voor tijdige opleveringen van het BVS zullen de minimale doorlooptijden van het BVS moeten worden berekend. Dit is uitgevoerd in de volgende stap.

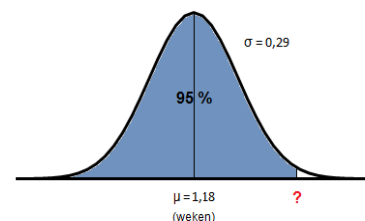
### Stap 3: het berekenen van de minimale doorlooptijden van het BVS

Voor het berekenen van de minimale doorlooptijden van het BVS is gebruik gemaakt van de PERT-methodiek. PERT staat voor Program Evaluation and Review Technique en is een projectplanning analyse methode. De methode heeft tot doel om de benodigde minimale tijd van een project of product te berekenen.

Het generieke productieproces van ieder tussenproduct van het BVS is onderverdeeld in activiteiten waar samen met ervaren BVS-redacteurs zorgvuldig de tijdsduur van is bepaald. Door gebruik te maken van de stochastische eigenschappen en formules van het model zijn zodoende de verwachte doorlooptijden met een servicegraad van 95% berekend van ieder tussenproduct van het BVS. Zie tabel 7.1.

| Minimale doorlooptijd<br>(in weken) | Verwachte<br>duur<br>( $\mu$ totaal) | Standaard<br>afwijking<br>( $\sigma$ totaal) | $\mu$ totaal<br>(95% service<br>graad) |
|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|
| Concept-BVS                         | 1,18                                 | 0,29                                         | 1,54                                   |
| Voorlopig-BVS                       | 4,25                                 | 1,05                                         | 5,60                                   |
| Definitief-BVS                      | 4,24                                 | 2,94                                         | 8,01                                   |
| As-built-BVS                        | 3,40                                 | 1,19                                         | 4,92                                   |

Tabel 7.2: Doorlooptijden van BVS-en met een servicegraad van 95%



Figuur 7.4: Doorlooptijd Concept-BVS met een servicegraad van 95%

Nu alle benodigde variabelen berekend zijn kan zowel het kritieke levermoment worden bepaald en de haalbaarheid van de huidige procedureel vastgestelde oplevermomenten.

### Vergelijken variabelen: berekening kritieke levermoment

RIGD-LOXIA heeft als doelstelling 95% van de BVS-en tijdig op te leveren. Om het kritieke levermoment te bepalen moet de tijdsduur worden bepaald dat het Concept-BVS met 95% zekerheid is vast te stellen dat het binnen deze periode is afgerond. Zie figuur 7.4 voor een visuele weergave van dit vraagstuk.

De minimale doorlooptijd van het Concept-BVS met servicegraad 95% is na berekening 1,54 weken. Samen met het procedureel vastgestelde oplevermoment van 23 weken komt daarmee het kritieke levermoment van het SWOD vast te liggen op:

*24,54 weken voor de indienststelling om 95% tijdigheid van het BVS te kunnen garanderen.*

Dit punt ligt ver na het huidige vastgestelde levermoment van 36 weken. De oorzaak-gevolg relatie tussen een te laat opgeleverd SWOD en een te laat opgeleverd BVS ligt dus een stuk genuanceerder zijn dan voor dit onderzoek werd gedacht. Een te late SWOD levering hoeft lang niet altijd te leiden tot een te late BVS oplevering.

Hiermee is bewezen dat het productieproces van het BVS in de huidige situatie ondermaats presteert en andere achterliggende problemen een te laat BVS veroorzaken.

### Vergelijken variabelen: berekening haalbaarheid

Deze berekeningen hebben ook bewezen dat, uitgaande het vastgestelde levermoment van het SWOD op 24,54 weken voor de indienststelling, zowel het Concept, Voorlopig als Definitief-BVS op tijd kunnen worden opgeleverd. De mogelijke productietijd is namelijk groot genoeg om 95% tijdigheid te kunnen garanderen. Dit is bewezen door te laten zien dat de doorlooptijden met een servicegraad van 95% kleiner zijn dan de mogelijke productietijd.

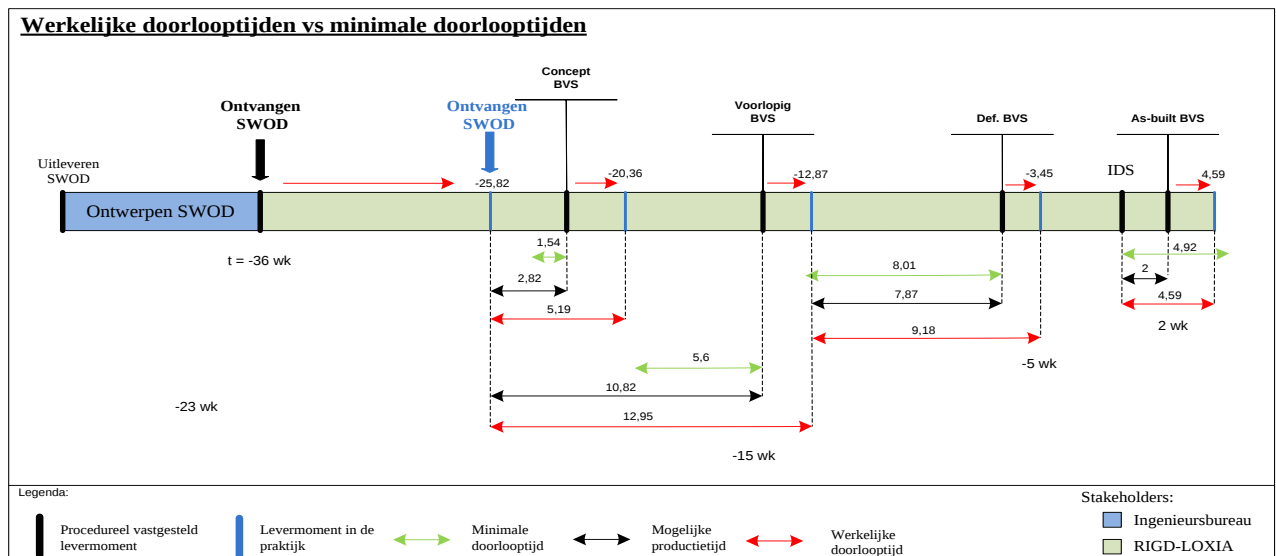
| Projectsituatie 1<br>(in weken) | Procedureel<br>vastgestelde<br>levermoment | Mogelijke<br>productietijd | $\mu$ totaal<br>(95%<br>service<br>graad) | Plannings-<br>ruimte<br>(slack) |
|---------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|
| Concept-BVS                     | -23                                        | 1,54                       | 1,54                                      | 0,00                            |
| Voorlopig-BVS                   | -15                                        | 9,54                       | 5,60                                      | 3,94                            |
| Definitief-BVS                  | -5                                         | 10                         | 8,01                                      | 1,99                            |
| As-built-BVS                    | +2                                         | 2                          | 4,92                                      | -2,92                           |

**Tabel 7.2: Berekeningen om haalbaarheid tijdigheid van ieder tussenproduct van het BVS inzichtelijk te maken**

Het procedureel vastgestelde oplevermoment van het As-built is echter niet haalbaar. Om 95% tijdigheid van het As-built-BVS te kunnen garanderen is namelijk 4,92 weken nodig, terwijl het binnen 2 weken zou moeten worden opgeleverd. Zie tabel 7.2.

## Samenvatting

Alle berekende variabelen zijn in figuur 7.5 samengevat om extra duidelijkheid te verschaffen in de gevonden inzichten.



Figuur 7.5: Samenvatting van alle berekende variabelen

## Conclusie

De huidige procedureel vastgestelde oplevermomenten zijn zeer ruim en haalbaar voor het Concept, Voorlopig en Definitief-BVS. Voor het As-built-BVS is er echter wel te weinig ruimte beschikbaar om tijdige leveringen te garanderen volgens het procedureel vastgestelde oplevermoment.

Het kritieke levermoment van het SWOD is berekend op 25,54 weken voor de indienststelling van het project.

Dit onderzoek heeft ook inzicht gegeven in de oorzaak-gevolg relatie tussen een te laat opgeleverd SWOD en een te laat opgeleverd BVS. Het ligt een stuk genuanceerder zijn dan voor dit onderzoek werd gedacht. Een te late SWOD levering hoeft namelijk lang niet altijd te leiden tot een te late BVS oplevering.

Hiermee is bewezen dat het productieproces van het BVS in de huidige situatie ondermaats presteert en andere achterliggende problemen een te laat BVS veroorzaken.

## Aanbevelingen

Mijn advies is om het procedureel vastgestelde oplevermoment van het SWOD tussen de 36 en 25,54 weken voor de indienststellingsdatum van het project vast te leggen. Dit levermoment zal ingenieursbureaus namelijk meer tijd geven om het SWOD te kunnen produceren en eventuele scopewijzigingen te kunnen verwerken. Dit zou een gunstig effect moeten hebben op de tijdigheid van het SWOD wat het productieproces en de planning van het BVS ten goede zal komen aangezien

SWOD's op de afgesproken tijden binnenkomen. Het nieuwe oplevermoment van het SWOD zal echter niet te dichtbij het oplevermoment van het Concept-BVS van 23 weken mogen zitten, omdat ingenieursbureaus in de huidige situatie bijna zelf bepalen wanneer ze het SWOD opleveren aan RIGD-LOXIA. De oplevermomenten van ingenieursbureaus zijn en kunnen in de huidige situatie namelijk niet contractueel worden vastgelegd.

Om het onderzoek te complementeren is ook een opzet gemaakt naar de achterliggende oorzaken van het eigenlijke probleem:

- De huidige operationele planning is niet effectief: te korte planningshorizon en projecten worden onjuist geprioriteerd.
- Het productieproces van het BVS blijkt te veel onderhandenwerk te bevatten waardoor het productieproces overbelast is.

Een productieproces waar het onderhandenwerk op de productievloer te hoog is kan worden gekenmerkt aan: geen tijdige leveringen (lage servicegraad), geen gevoel van controle over het proces, ontevreden klanten, ontevreden werknemers en tenslotte ontevreden managers. Het verband met ontevreden werknemers en managers is in eerste instantie niet snel gelegd, maar wanneer het onderhandenwerk hoog is zullen werknemers constant moeten wisselen van taken aangezien telkens producten met een hogere prioriteit worden doorgedrukt op de productievloer. Dit vergroot de doorlooptijd, maar het voelt daarbij ook chaotisch en inefficiënt voor zowel de medewerker als de managers die het proces aansturen.

#### Oplossingen volgens theorie:

Door gebruik te maken van de theorie van Little's Law kan reductie van de doorlooptijden worden gerealiseerd wanneer:

- het onderhandenwerk (OHW) wordt verlaagd
- de productiesnelheid (TH) wordt verhoogd

In de huidige situatie is het productieproces van het BVS overbelast en liggen er teveel onafgemaakt BVS-en verspreidt op de productievloer. Dat dit door de jaren heen zo is ontstaan is verklaarbaar aangezien ver voor de indienststelling van het project al tussenproducten moeten worden opgeleverd. Op dit moment wordt er geen limiet gesteld op de introductie van producten op de productievloer. Om de doorlooptijden van het BVS te verlagen zal in de nieuwe situatie het proces zo moeten worden ingericht dat het onderhandenwerk wat zich op dit moment op de productievloer bevindt kan worden weggewerkt. Dit is mogelijk door een periode te stoppen met het introduceren van werk op de productievloer. Uit praktijkervaringen wordt geadviseerd om te beginnen met een periode wat gelijk staat aan de helft van de doorlooptijd van het product, het BVS in dit geval (Whitt, 2013). Het is ook

mogelijk voor een periode extra personeel aan te nemen om het huidig onderhandenwerk weg te werken. Dit is echter een duurder oplossing.

Tenslotte zal RIGD-LOXIA in de toekomst het onderhandenwerk in het productieproces ook moeten beheersen. Dit kan worden bereikt met bijvoorbeeld:

- CONWIP
- Kanban

## 7.3 Discussie en vervolgonderzoek

### 7.3.1 Discussie

Bij de berekeningen van het kritieke pad met het PERT model is niet de kans meegenomen dat ook andere paden in het proces het kritieke pad kunnen worden. Hierdoor wordt de verwachte doorlooptijd van het project onderschat. Toch zouden deze berekeningen voor dit onderzoek niet veel bijdragen aangezien ieder BVS proces een sequentieel proces betreft waardoor er geen kans bestaat dat andere paden op het kritieke pad terechtkomen. Deze berekeningen zijn echter wel van belang bij ingewikkelde processen waar veel activiteiten parallel kunnen lopen en veel paden mogelijk zijn.

### 7.3.2 Vervolgonderzoek

Het uitwerken van de aanbevelingen die staan opgesteld in de vorige paragraaf:

- WIP inzichtelijk maken, beperken en beheersen
- Kanban en/of CONWIP systeem opzetten.
- Onderzoek naar optimale resource planning: planningshorizon, releasedatums bepalen en interne deadlines vaststellen

#### Leveranciers beïnvloeden doormiddel van het vastleggen van levertijden

Het blijft vaststaan dat naast het versnellen van doorlooptijden intern de mogelijkheden kunnen worden onderzocht om leveranciers te beïnvloeden. Immers het eerder ontvangen van de juiste input (SWOD's) zal RIGD-LOXIA meer planningsruimte geven om haar producten tijdig op te leveren. Dit onderzoek heeft al een opzet gemaakt door de crashmogelijkheden te kwantificeren. Praktijkresultaten hebben al bewezen dat het inzichtelijk maken van opgedane vertragingen door leveranciers hen aanstuurt om producten tijdig op te leveren. Er zullen zeker meer factoren meespelen waar onderzoek naar kan worden gedaan. Hierbij aansluitend zijn de oplevermomenten van het SWOD voor het ingenieursbureau in de huidige situatie niet contractueel vastgelegd. Sinds een jaar geeft RIGD-LOXIA wel feedback terug aan de ingenieursbureaus via het KPI dat de opgeleverde SWOD momenten vergelijkt met het geplande oplevermoment. Dit heeft ingenieursbureaus er toe aangezet

interne verbeterprocessen op te starten. Uit deze cijfers is gebleken dat we op korte termijn verbeteringen zagen die later weer net zo snel verdampen. Ik zie kansen om onderzoek te doen naar de contractuele mogelijkheden om ingenieursbureaus strakker aan de planning te laten houden en eventueel een bonusmalus systeem te ontwikkelen waarin tijdige opleveringen worden beloond en/of te late opleveringen worden straf. Beloningen en straffen kunnen eventueel te maken met het gunnen van aanbestedingen of het opleggen van boetes.

#### Verschil tussen uren offertes en uren gewerkt bijhouden

Verschil tussen uren op offertes en daadwerkelijk gewerkte uren wordt niet bijgehouden en is gedateerd. Er wordt te veel van uitgegaan dat betalingen toch wel worden voldaan. Naast het feit dat het oneerlijk is voor klanten heb je als RIGD-LOXIA zijnde onvoldoende inzicht op de stand van zaken van een project en is het inschatten van budgetten voor het komende jaar moeilijker.

#### As-built BVS oplevering niet verplichten

Het verwijderen van het As-built BVS. In de huidige situatie wordt van iedere infrawijziging een As-built-BVS opgeleverd. Het productieproces van het BVS krijgt veel meer planningsruimte wanneer het As-built BVS alleen wordt opgeleverd

## Bronnenlijst

- Bland, J.M. & Altman, D.G. (1996). "Statistics notes: measurement error". *Bmj*, 312(7047)
- Foya, C. (2013). Crash options and critical planning of processes in construction projects. *Journal of business research* 64, pp 765-773
- Gong, D. & Hugsted, D. (1993). Time-uncertainty analysis in project networks with a new merge-event time-estimation technique. *Int. J. Project Management*, pp 165-174.
- Harris, Mark (February 22, 2010). "Little's Law: The Science Behind Proper Staffing". *Emergency Physicians Monthly*. Retrieved September 4, 2012.
- Klastorin, Ted (2003). *Project Management: Tools and Trade-offs*
- Kerzner, H. (2003). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling* (8th ed.).
- Kim, S. H. & Whitt, W. (2013). "Statistical Analysis with Little's Law" Kim, S. H.; Whitt, W. (2013). "Statistical Analysis with Little's Law"
- Kovacs, G. L., & Paganelli, P. (2003). "A planning and management infrastructure for large, complex, distributed projects — beyond ERP and SCM." *Computers in Industry*, 51(2), 165-165.
- Larson E.W., Grey C.F. (2011), *Project Management Managerial Process*, McGraw-Hill
- Miller, Robert W. (1963). *Schedule, Cost, and Profit Control with PERT - A Comprehensive Guide for Program Management*. McGraw-Hill.
- Milosevic, Dragan Z. (2003). *Project Management ToolBox: Tools and Techniques for the Practicing Project Manager*.
- Mongalo, M. A. & Lee, J. A. (1990). A comparative study of methods for probabilistic project scheduling. *Computers Ind. Engineering*, pp 505-509.
- Mummolo, G. (1997). Measuring uncertainty and criticality in network planning by PERT-path technique. *Int. J. Proj. Manag.*, pp 377–387.
- Ravi Shankar, N. & Sireesha, V. (2009). An approximation for the activity duration distribution, supporting original PERT Volume 3, Issue 57-60, pp 2823-2834
- Rice, John (1995), *Mathematical Statistics and Data Analysis* (Second ed.), Duxbury Press, ISBN, pp 534-539.

Vaan, M.J.M. de, (1990). Just-In-Time. Strategie voor flexibiliteit en klantgerichte prestaties. Kluwer, Logistieke Reeks.

Visser, H., & Van Goor, A. (2008). Werken met logistiek: op weg naar supply chain management. Groningen: Wolters-Noordhoff.

Walker, Helen (1931). *Studies in the History of the Statistical Method*. Baltimore, MD: Williams & Wilkins Co. pp. 24–25

Wescott, Bob (2013). "Introduction to "Little's Law as Viewed on Its 50th Anniversary"". *Operations Research* **59** (3), pp 535.

Wright, A. T. (1969) *Critical Path Method: Introduction and Practice*. Longman Group LTD, London, pp 32-64.

