

## **HET VERBETEREN VAN PREDICTIEF LIGGINGSONDERHOUD BIJ ASSET RAIL**

DE INTERACTIE TUSSEN MEDEWERKERS, TECHNIEK, ORGANISATIE EN OMGEVING OP HET  
TRANS-ORGANISATORISCH ONDERHOUDSPROCES

UNIVERSITEIT TWENTE  
ARCADIS

27 juni 2014  
1.0 - Definitief



# Titelblad

## Het Verbeteren van Predictief Liggingsonderhoud bij ASSET Rail

De Interactie tussen Medewerkers, Techniek, Organisatie en Omgeving op het Trans-Organisatorisch Onderhoudsproces

### **OPDRACHTGEVER:**

Universiteit Twente  
ARCADIS

### **STATUS:**

27 juni 2014  
1.0 - Definitief

### **AUTEUR:**

Ing. L. Vet  
Construction Management and Engineering  
Universiteit Twente

### **GECONTROLEERD DOOR:**

|               |               |                          |
|---------------|---------------|--------------------------|
| Dr.sc.techn.  | A. Hartmann   | (Universiteit Twente)    |
| Prof. Dr. Ir. | J.I.M. Halman | (Universiteit Twente)    |
| Ir.           | P.W. Dourlein | (ARCADIS Nederland B.V.) |

# Woord vooraf

Met trots presenteer ik u het resultaat van het onderzoek naar de verbetering van predictief liggingsonderhoud bij ASSET Rail en ARCADIS.

Niet alleen dit resultaat, maar ook het proces hier naartoe is voor mij waardevol geweest. Door niet meteen de diepte in te duiken, maar eerst de Nederlandse spoorbranche te begrijpen, kon ik de keuze voor dit onderwerp weloverwogen maken.

De spoorbranche is dynamisch en zoekt zijn weg naar verbetering. Deze visie heb ik tijdens mijn afstudeerperiode ontwikkeld door verschillende partijen en personen te bezoeken en te spreken. Mijn vaste standplaats bij ARCADIS in Amersfoort is een broeinest van ideeën, mogelijkheden en kruisbestuivingen op het gebied van spoor. ASSET Rail beheert met trotse werknemers delen van het Nederlandse spoor en wil de bestaande en nieuwe kennis gebruiken om zowel haarzelf als de spoorbranche te verbeteren. Daarnaast heeft het bijwonen van verschillende spoorgelerateerde bijeenkomsten mijn inhoudelijke kennis van het spoor op branche-niveau vergroot.

Naast de inhoudelijke kennis kan ik ook stellen dat ik mij persoonlijk heb ontwikkeld. Het plannen en uitvoeren van dit onderzoek gaf me soms hoofdbrekens, waar ik op den duur mee leerde omgaan. De tussentijdse eureka-momentjes zorgden echter weer voor de energie en passie waarmee ik dit onderzoek uitvoerde.

Degene die mij begeleidde in de het vergroten van mijn inhoudelijke kennis en persoonlijke ontwikkeling, was mijn begeleider Peter Dourlein. Zo nodig zette hij mij aan het denken en liet mij reflecteren op mijn geplande of uitgevoerde acties. Wanneer ik echt vastliep zette hij mij op het juiste spoor om verder te gaan. Daarnaast hebben de andere collega's van ARCADIS en ASSET Rail mij ondersteund met hun passie en inhoudelijke kennis over het spoor en onderhoud. Mijn vriendin, familie en vrienden ondersteunden mij vooral tijdens momenten van frustratie, door van me af te kunnen praten en zo weer tot nieuwe inzichten te komen.

Al met al, heb ik het gevoel met dit onderzoek bij te dragen aan de verbetering van de railinfrastructuur in Nederland en de verhoging van haar maatschappelijke waarde.

Amersfoort, 27 juni 2014

Laurens Vet

# Samenvatting

## *Aanleiding*

Treinreizigers verwachten ongehinderd gebruik te kunnen maken van het spoor in Nederland. Een afwijkende ligging van het spoor zorgt voor verminderd reizigerscomfort en een onveilige spoorinfrastructuur. De afwijkende spoorligging wordt met liggingsonderhoud binnen de veiligheidsnorm gehouden. Enerzijds leidt te weinig van dit onderhoud tot overschrijding van de normen met als gevolg slijtage van het spoor of zelfs ontsporing van treinen. Anderzijds leidt te veel liggingsonderhoud tot minder beschikbaar spoor en onnodig hogere onderhoudskosten. Het voorkomen van te veel of te weinig liggingsonderhoud is mogelijk door de overschrijding van de norm te voorspellen. Dit zogenaamde gericht predictief liggingsonderhoud voert spooraanemer ASSET Rail uit in samenwerking met adviesbureau ARCADIS. Om de beschikbaarheid van het spoor te verhogen en de onderhoudskosten te verlagen, willen beide organisaties de toepassing van predictief liggingsonderhoud verbeteren.

## *Doelstelling en Methode*

Het doel van dit onderzoek is het verklaren welke factoren de implementatie van volledig predictief liggingsonderhoud binnen ARCADIS en ASSET Rail beïnvloeden en hoe deze factoren beïnvloed kunnen worden, ter bevordering van de implementatie. Allereerst is de recente kennis over liggingsonderhoud, onderhoudsstrategieën en organisatieveranderingen vastgesteld door bestudering van literatuur en gesprekken met deskundigen. Hieruit zijn de te verwachten invloedsfactoren voor het predictief liggingsonderhoud binnen ASSET Rail gesynthetiseerd tot een conceptueel raamwerk. Dit raamwerk is gebruikt in semigestructureerde interviews om de werkelijke invloedsfactoren binnen het onderhoudsproces van ARCADIS en ASSET Rail te verklaren. Een veranderplan is ontworpen om het proces van predictief liggingsonderhoud te verbeteren. Naast de interviews zijn de data ontsloten door het observeren van het liggingsonderhoud en bestudering van onderhoudsdocumenten van beide organisaties.

## *Resultaten*

Het verbeteren van het proces van predictief liggingsonderhoud wordt intern beïnvloed door de medewerkers binnen dit proces, de organisatie en de gebruikte technieken (zie afbeelding A). Daarnaast wordt het proces extern beïnvloed door de omgeving waarin het onderhoud wordt uitgevoerd.

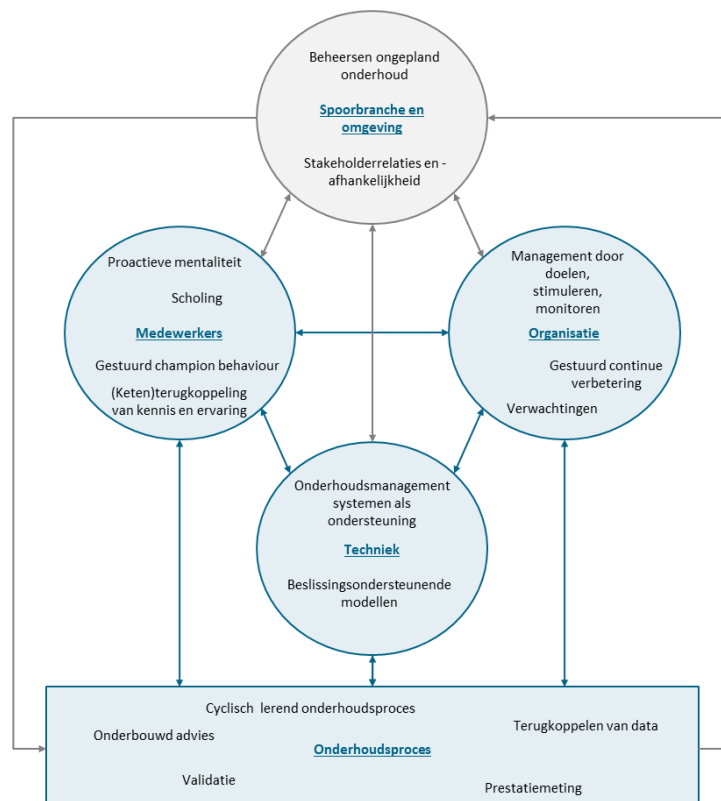
De resultaten tonen aan dat het huidige proces van predictief liggingsonderhoud wordt uitgevoerd als een lineair onderhoudsproject. Het leren van de geleverde adviezen door ARCADIS en het uitgevoerde onderhoud door ASSET Rail is onvoldoende, omdat niet alle beschikbare data wordt teruggekoppeld door beide organisaties. Hierdoor is het niet mogelijk het advies met de voorspellingen en het uitgevoerde onderhoud te valideren met het daadwerkelijk benodigde onderhoud. De (financiële) prestatie wordt nu niet gemeten, waardoor gerichte sturing van het verbeteren van het onderhoud niet mogelijk is. De huidige visie van het management heeft een positieve invloed op de medewerkers, maar stuurt onvoldoende. De inhoudelijke kennis, ideeën en constatering van medewerkers blijven grotendeels binnen de eigen organisatie, terwijl dit de andere organisatie kan helpen met de verbetering van de voorspelling of uitvoering van het onderhoud. De deels nog reactieve mentaliteit van medewerkers belemmert deze kennisdeling. Het huidige beslissingsondersteunend systeem wordt door medewerkers als belangrijk middel gezien, maar is slechts een onderdeel van het voorspellen van het liggingsonderhoud. Naast de techniek, medewerkers en organisatie heeft het ongepland onderhoud en de afhankelijkheid van de dataleverancier ook invloed op het gericht voorspellen van het liggingsonderhoud.

## Veranderplan

Het ontworpen veranderplan moet leiden tot een cyclisch lerend proces van predictief liggingsonderhoud. Met dit proces wordt na elke cyclus geleerd van de eerdere voorspellingen en het uitgevoerde liggingsonderhoud. De verbetering wordt bereikt door terugkoppeling van beschikbare data naar de medewerkers die het liggingsonderhoud voorspellen. Hierdoor is het mogelijk de voorgaande voorspellingen te valideren met het uitgevoerde onderhoud. Hiermee kan ook (financiële) prestatie worden gemeten en wordt inzichtelijk welk onderhoud te vroeg, te laat en (on)juist zijn voorspeld en uitgevoerd. Het verbeteren van de prestatie is mogelijk door het formuleren van een gezamenlijk doel door het management van beide organisaties (trans-organisatorisch). Door monitoring van het te bereiken doel wordt gestuurd op het continue verbeteren van predictief liggingsonderhoud. Deze sturing moet ook bijdragen aan de benodigde proactieve mentaliteit van medewerkers en het trans-organisatorisch delen van ideeën en constatering. Naast de kennis en ervaring van medewerkers zal het huidige beslissingsondersteunend systeem een hulpmiddel zijn voor het voorspellen van liggingsonderhoud. De negatieve invloed van ongepland onderhoud op het onderhoudsproces is op dit moment moeilijk te beheersen. Het inzichtelijk houden van dit aandeel naast het geplande predictief liggingsonderhoud draagt bij aan het voorkomen van verkeerde interpretaties van de voorspellingen.

## Conclusie

De interactie tussen medewerkers, de organisaties, de gebruikte technieken en de omgeving verbetert predictief liggingsonderhoud van een lineair onderhoudsproject naar een trans-organisatorisch cyclisch lerend onderhoudsproces (zie afbeelding A). Hiermee toont het onderzoek aan dat niet alleen technieken zoals beslissingsondersteunende systemen leiden tot gericht liggingsonderhoud. Naast de medewerkers en organisatie is omgeving ook belangrijk voor het onderhoudsproces, omdat ongepland onderhoud het voorspellen en uitvoeren van liggingsonderhoud negatief beïnvloedt. Het onderzoek binnen twee organisaties draagt bij aan de kennis over trans-organisatorisch onderhoud. Daarnaast draagt dit onderzoek bij aan een hogere beschikbaarheid van de railinfrastructuur door gericht liggingsonderhoud, met uiteindelijk minder hinder voor de treinreiziger.



Afbeelding A: Het veranderen naar een Cyclisch Lerend Proces van Predictief Liggingsonderhoud wordt beïnvloed door de interactie tussen Medewerkers,

# Summary

## *Background*

Train passengers expect to travel without nuisance, but deviated track geometry cause reduction of passenger comfort and unsafe railway tracks. The execution of track geometry maintenance prevents the deviated track geometry from exceedance of the safety standards. Too little maintenance results in track wear or even derailments, where too much maintenance reduces the availability of the track and higher expenditure. Accurately predicting the exceedance of the standards prevents too much or too little maintenance. This so called predictive track geometry maintenance (PTGM) is executed by ASSET Rail in collaboration with ARCADIS. To increase the availability of the track and reduce the maintenance expenditure, both organizations want to improve PTGM.

## *Research objective and method*

The aim of this research is to explain what factors influence the implementation of predictive track geometry maintenance within ARCADIS and ASSET Rail and how these factors can be influenced, in order to stimulate the implementation. Recent knowledge about track geometry maintenance, maintenance strategies and organizational change was determined via literature review and meeting of experts. The synthesis of the knowledge resulted in a conceptual framework of expected factors that influence PTGM within the maintenance process. This framework has been used in semi-structured interviews to examine the actual factors that influence the maintenance process of ARCADIS and ASSET Rail. A change plan has been designed for improving the process of PTGM. Besides the semi-structured interviews, the empirical data is collected via the observation of the track geometry maintenance and examination of maintenance documents of both organizations.

## *Results*

The improvement of the process of PTGM is influenced internally by the employees, the organization and the used techniques (see figure B). In addition, the process is influenced externally by the environment in which the maintenance takes place.

The results show that the current process of PTGM is executed as a linear maintenance project. This results in insufficient learning from the provided advice by ARCADIS and the executed maintenance of ASSET Rail, because the feedback of all available data between both organizations is lacking. As a consequence, it hampers the validation of previous predictions and the executed maintenance. At this moment, the (financial) performance is and cannot be measured, which makes the targeted control of maintenance improvement difficult. The current vision of the management of both organizations stimulate employees, but is inadequate for controlling the improvement. The content knowledge, ideas and findings of employees still remain within their own organization, while this could help the other organization to improve their predictions or execution of maintenance. The partly reactive mindset of employees hampers this knowledge sharing. The current decision-support system is seen as an important tool by employees, but is just a part of predicting the track geometry maintenance. Besides these factors, unplanned maintenance and dependency of the data supplier influences the targeted prediction of track geometry maintenance.

### Change plan

The designed change plan should lead to a cyclic learning process of PTGM. After each cycle of the process the employees learn from previous predictions and the executed track geometry maintenance. This improvement will be achieved by feedback of the available data to the employees who predict the maintenance. This leads to validation of the previous predictions and the executed maintenance. The feedback makes it also possible to measure the (financial) performance and give insights in too early, too late and (in)correct predictions and executed maintenance. Improving the performance is possible by formulating a shared objective by the management of both organizations (trans-organizational). Monitoring the objective to be achieved controls the continues improvement of the PTGM. This control mechanism should also contribute to the required proactive mindset of employees and the trans-organizational sharing of ideas and findings. The current decision-support system should be seen as a tool, as part of predicting the track geometry maintenance. At this moment, the negative influence of the unplanned maintenance on the maintenance process is difficult to control. Keeping insights in this part of the total maintenance contributes to the prevention of wrong interpretations of the predictions.

### Conclusion

The interaction between employees, the organizations, the using technical systems and the environment improves PTGM from a linear maintenance project to a trans-organizational cyclic learning process of maintenance (see figure B). With this, the research shows that not only technology (e.g. decision-support systems) result in targeted predictive maintenance. Besides the employees and organization, the environment is important to the maintenance process because unplanned maintenance negatively influence the prediction and execution of track geometry maintenance. This research within two organizations contributes to the knowledge about trans-organizational maintenance. Finally, this research contributes to a higher availability of the rail infrastructure by targeted track geometry maintenance, which reduces the nuisance to train passengers.

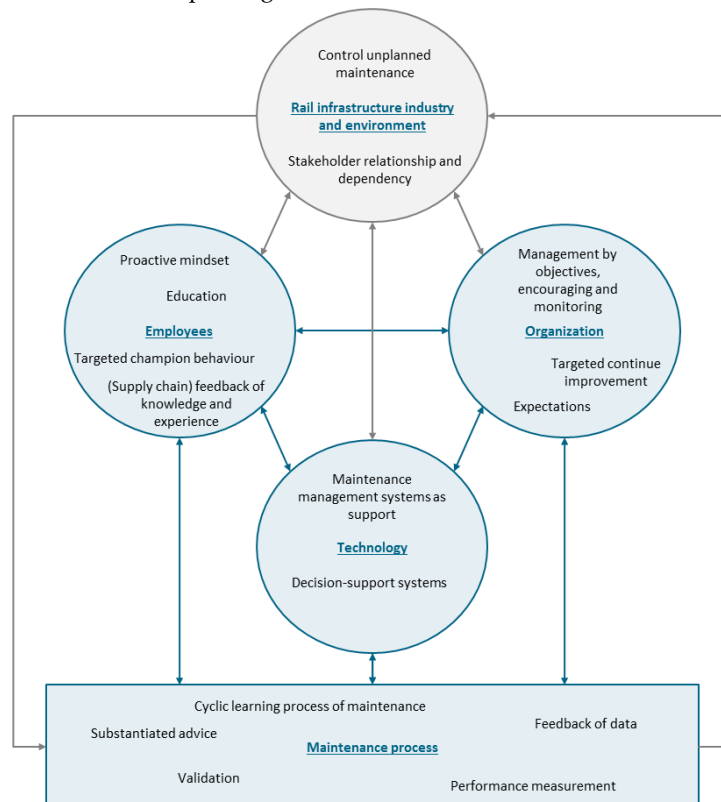


Figure B: The change to a Cyclic Learning Process of Predictive Track Geometry Maintenance is being influence by the interaction of Employees, Organization, Technology and the



# Inhoud

|                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Titelblad.....</b>                                                    | <b>1</b>  |
| <b>Woord vooraf .....</b>                                                | <b>2</b>  |
| <b>Samenvatting .....</b>                                                | <b>3</b>  |
| <b>Summary.....</b>                                                      | <b>5</b>  |
| <b>1 Introductie.....</b>                                                | <b>9</b>  |
| 1.1 Achtergrond informatie .....                                         | 9         |
| 1.2 Probleem .....                                                       | 11        |
| 1.3 Doelstelling en Onderzoeksvragen .....                               | 12        |
| 1.3.1 Doelstelling.....                                                  | 12        |
| 1.3.2 Onderzoeksvragen.....                                              | 12        |
| 1.3.3 Wetenschappelijke, praktische en maatschappelijke relevantie ..... | 13        |
| 1.4 Leeswijzer .....                                                     | 13        |
| <b>2 Methode.....</b>                                                    | <b>14</b> |
| 2.1 Introductie .....                                                    | 14        |
| 2.2 Ontwikkeling Raamwerk.....                                           | 14        |
| 2.2.1 Onderzoeksbenadering.....                                          | 14        |
| 2.2.2 Onderzoeksmateriaal .....                                          | 15        |
| 2.2.3 Dataverzameling en analyse .....                                   | 15        |
| 2.3 Predictief liggingsonderhoud binnen ARCADIS en ASSET Rail .....      | 16        |
| 2.3.1 Onderzoeksbenadering.....                                          | 16        |
| 2.3.2 Onderzoeksmateriaal .....                                          | 16        |
| 2.3.3 Dataverzameling en analyse .....                                   | 16        |
| 2.4 Veranderplan.....                                                    | 19        |
| 2.4.1 Onderzoeksbenadering.....                                          | 19        |
| 2.4.2 Onderzoeksmateriaal .....                                          | 19        |
| 2.4.3 Dataverzameling en analyse .....                                   | 19        |
| <b>3 Ontwikkeling Raamwerk.....</b>                                      | <b>20</b> |
| 3.1 Introductie .....                                                    | 20        |
| 3.2 Liggingsonderhoud .....                                              | 20        |
| 3.3 Onderhoudsstrategieën.....                                           | 25        |
| 3.4 Implementatie in organisaties.....                                   | 29        |
| 3.5 Conceptueel Raamwerk .....                                           | 37        |
| <b>4 Predictief liggingsonderhoud binnen ARCADIS en ASSET Rail .....</b> | <b>42</b> |
| 4.1 Huidig proces van predictief liggingsonderhoud .....                 | 42        |
| 4.1.1 Huidige procesactiviteiten.....                                    | 42        |
| 4.1.2 Ontbrekende procesactiviteiten .....                               | 43        |
| 4.2 Medewerkers over predictief liggingsonderhoud.....                   | 47        |

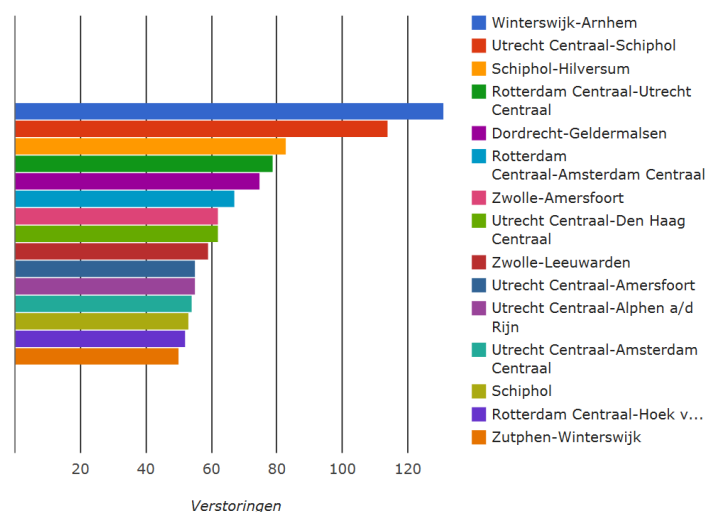
|                    |                                                                           |            |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2.1              | Ketenkennis predictief liggingsonderhoud .....                            | 47         |
| 4.2.2              | Belang van medewerkers voor predictief liggingsonderhoud .....            | 48         |
| 4.2.3              | Conclusie.....                                                            | 49         |
| 4.3                | Invloedsfactoren op het predictief liggingsonderhoud .....                | 50         |
| 4.3.1              | Medewerkers.....                                                          | 50         |
| 4.3.2              | Organisatie.....                                                          | 51         |
| 4.3.3              | Techniek.....                                                             | 52         |
| 4.3.4              | Spoorbranche en omgeving.....                                             | 53         |
| 4.4                | Validatie en Conclusie.....                                               | 53         |
| <b>5</b>           | <b>Veranderplan predictief liggingsonderhoud.....</b>                     | <b>55</b>  |
| 5.1                | Ontwerp gewenst proces van predictief liggingsonderhoud .....             | 55         |
| 5.2                | Invloedsfactoren op de verandering van predictief liggingsonderhoud ..... | 61         |
| 5.2.1              | Medewerkers.....                                                          | 61         |
| 5.2.2              | Organisatie.....                                                          | 63         |
| 5.2.3              | Techniek.....                                                             | 64         |
| 5.2.4              | Spoorbranche en omgeving.....                                             | 65         |
| 5.3                | Validatie en Conclusie.....                                               | 65         |
| <b>6</b>           | <b>Conclusie en Discussie .....</b>                                       | <b>67</b>  |
| 6.1                | Conclusie.....                                                            | 67         |
| 6.2                | Discussie .....                                                           | 69         |
| 6.3                | Vervolgonderzoek .....                                                    | 71         |
| <b>7</b>           | <b>Bronvermelding .....</b>                                               | <b>72</b>  |
| <b>Bijlage 1</b>   | <b>Definitielijst .....</b>                                               | <b>76</b>  |
| <b>Bijlage 2</b>   | <b>Enquête .....</b>                                                      | <b>78</b>  |
| <b>Bijlage 2.1</b> | <b>Enquêteprotocol .....</b>                                              | <b>78</b>  |
| <b>Bijlage 2.2</b> | <b>Resultaten open vragen .....</b>                                       | <b>89</b>  |
| <b>Bijlage 3</b>   | <b>Interviewprotocol .....</b>                                            | <b>92</b>  |
| <b>Bijlage 4</b>   | <b>Observatieprotocol .....</b>                                           | <b>97</b>  |
| <b>Bijlage 5</b>   | <b>Kernbegrippen kwalitatieve inhoudsanalyse Empirie .....</b>            | <b>100</b> |
| <b>Bijlage 6</b>   | <b>Processchema's .....</b>                                               | <b>104</b> |
| <b>Bijlage 6.1</b> | <b>Huidig proces van predictief liggingsonderhoud.....</b>                | <b>104</b> |
| <b>Bijlage 6.2</b> | <b>Gewenst proces van predictief liggingsonderhoud.....</b>               | <b>107</b> |
| <b>Bijlage 7</b>   | <b>Aandachtsgebieden .....</b>                                            | <b>109</b> |
| <b>Bijlage 8</b>   | <b>Validatie .....</b>                                                    | <b>112</b> |

# 1

## Introductie

### 1.1 ACHTERGROND INFORMATIE

“Wegens een storing rijden er geen treinen tussen...”. Reizigers die in Nederland regelmatig met de trein reizen horen deze omroep regelmatig. Met name de trajecten Winterswijk-Arnhem en Utrecht-Schiphol horen deze omroep met enige regelmaat (zie Afbeelding 1). Onverwachte vertragingen leiden bij personenvervoer tot extra reistijd, stress, gemiste aansluitingen en daardoor negatieve gevolgen voor bedrijven. Bij het goederenvervoer leiden vertragingen tot problemen in het voorraadbeheer, de productiesystemen en distributiesystemen (Kennisinstituut voor Mobiliteit, 2013; Schaafsma, 2001; Tahmasseby, 2009). De kosten van deze negatieve effecten zijn voor rekening van de overheid en de maatschappij, oftewel de belastingbetaler (Dourlein, 2004). Het reduceren van de storingen leidt tot een hogere beschikbaarheid en betrouwbaarheid van de spoorinfrastructuur en betere besteding van het publiek geld (ProRail, 2012; Schaafsma, 2005).



Afbeelding 1 Statistieken verstoringen mei 2013 - oktober 2013 (Treinverstoringen.nl)

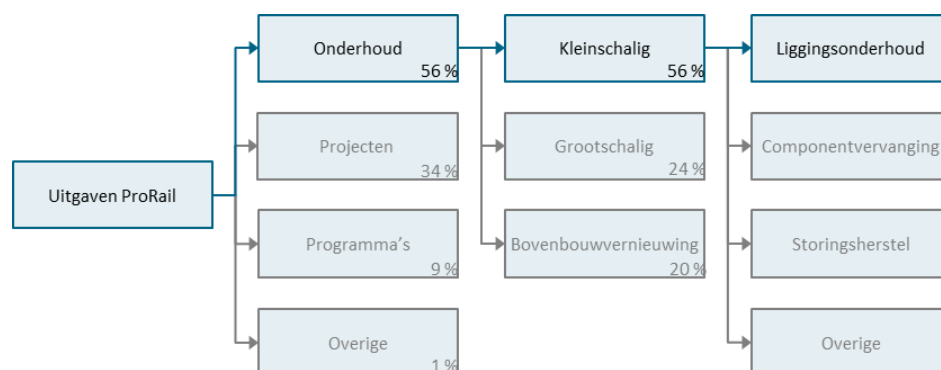
#### Liggingsonderhoud ter voorkoming van storingen

Een deel van de storingen wordt veroorzaakt door een verkeerde ligging van het spoor (ProRail, 2013). Kleine afwijkingen van het spoor verminderen ten eerste het comfort van de reiziger (Kuipers, 2006; ProRail, 2009). Ten tweede veroorzaakt het onveilige verkeerssituaties (Arasteh Khouy, 2013; Zoeteman, 2004). Hierbij valt te denken aan het ontsporen of stuiteren van treinwielen of instabiliteit van goederen op het spoor. Ten derde leiden kleine afwijkingen van het spoor tot verminderde duurzaamheid doordat de spoorstaven en bovenleiding gaan slijten, de vlaktedruk op de wielen en de afstand tussen de twee spoorstaven groter wordt (ProRail, 2007). Hierdoor slijten de wielen en pantografen van de trein sneller (Zoeteman, 2004). Wanneer niets gedaan wordt aan de afwijkingen van de spoorligging kunnen de

genoemde oorzaken leiden tot het stilleggen van het treinverkeer. Het stilleggen betekent een storing in de railinfrastructuur, omdat de veiligheid of duurzaamheid in gevaar komt.

De oorzaken van storingen worden door ProRail gereduceerd door het publiek geld te besteden aan Onderhoud, Projecten en Programma's. Van deze bestedingen gaat 56% naar het Onderhoud (zie Afbeelding 2). De Projecten en Programma's en Overige omvatten respectievelijk 34%, 9% en 1% van de bestedingen (ProRail, 2013). Onderhoud omvat dus een aanzienlijk deel van de bestedingen om storingen aan de spoorinfrastructuur te reduceren.

Binnen het Onderhoud wordt het geld besteed aan Kleinschalig onderhoud, Grootschalig onderhoud en Bovenbouwvernieuwing. Kleinschalig onderhoud zijn geplande en ongeplande onderhoudsactiviteiten die noodzakelijk zijn om de veiligheid en duurzaamheid te handhaven voor de korte termijn van vijf jaar. De onderhoudsactiviteiten omvatten inspecties aan de spoorinfrastructuur, het corrigeren van de spoorligging, componentvervanging en het verhelpen van storingen. Voor de langere termijn wordt het Grootschalig Onderhoud toegepast om bijvoorbeeld spoorstaven te slijpen. Bij Bovenbouwvernieuwing worden de spoorstaven vervangen, inclusief de dwarsliggers en het ballastbed. Van de drie soorten onderhoud blijkt Kleinschalig onderhoud in zowel 2012, 2013 als 2014 de grootste uitgavenpost te zijn met 272 miljoen euro (58%) in 2013 (ProRail, 2012; 2013; 2014).



Afbeelding 2 Liggingsonderhoud binnen de context van het beheer aan de spoorinfrastructuur (ProRail, 2013)

Binnen het Kleinschalig onderhoud wordt een verkeerde spoorligging gecorrigeerd door toepassing van liggingsonderhoud. Met het liggingsonderhoud worden de kleine afwijkingen van de spoorligging hersteld om te voorkomen dat de veiligheid en duurzaamheid van de spoorinfrastructuur wordt aangetast. Proces Contract Aannemers (PCA's) voeren in opdracht van ProRail dit liggingsonderhoud uit voor verschillende contractgebieden. ASSET Rail is één van deze PCA's en heeft twee contractgebieden in Nederland. Het contract tussen ProRail en ASSET Rail wordt een Prestatie Gericht Onderhoud (PGO) contract genoemd (ProRail, 2012). Dit contract stelt dat de ligging van het spoor binnen de voorgeschreven prestatienormen moet blijven om de veiligheid en duurzaamheid van de spoorinfrastructuur te waarborgen. De PCA heeft de functie de gestelde prestatie van de spoorligging in stand te houden.

### Liggingsonderhoud binnen ASSET Rail

Het onderhoudscontract tussen ASSET Rail en ProRail stelt dat de PCA zelf de methode van liggingsonderhoud bepaalt. Liggingsonderhoud bestaat in hoofdzaak uit inspectie en uitvoering (Zoeteman, 2004). Een deel van de inspectie wordt uitgevoerd door het bedrijf Eurailscout, dat met een meettrein de ligging van het spoor monitort en de hieruit voortkomende data stuurt naar ASSET Rail. Deze data worden vervolgens doorgestuurd naar ARCADIS ter analyse. Voor de analyse van de data maakt ARCADIS gebruik van het softwareprogramma Xeiz Rail Geometrie (Xeiz RG). Xeiz RG voorspelt

waar en wanneer het benodigde liggingsonderhoud uitgevoerd moet worden in de toekomst. De voorspelde onderhoudslocaties worden vervolgens als advies gerapporteerd aan ASSET Rail.

Op basis van het advies bepaalt ASSET Rail zijn onderhoudsplan. Hierdoor kunnen zij gericht op de juiste locatie en het juiste tijdstip de spoorligging corrigeren. De directeur van ASSET Rail, dhr. Ahsman (Nieuwsuur, 30 januari 2013) omschrijft dit als volgt “Door het gedrag te voorspellen van het spoor op basis van het verleden weet ASSET Rail wanneer zij liggingsonderhoud moeten plegen, voordat de norm wordt overschreden.” Het voorspellen van de toekomstige spoorligging moet het te veel of te weinig (niet gericht) uitvoeren van liggingsonderhoud voorkomen.

ASSET Rail en ARCADIS zijn overtuigd dat het voorspellen van het benodigde liggingsonderhoud de toekomst is. ASSET Rail wil voorop blijven lopen in het voorspellen van het benodigde liggingsonderhoud in Nederland (Ahsman; Kuipers, persoonlijke communicatie) en ARCADIS wil hierin ondersteunen met de kennis die zij hebben van het voorspellen van dit liggingsonderhoud (Dourlein, persoonlijke communicatie). Door gerichte uitvoering van het liggingsonderhoud op basis van voorspellingen wordt een afwijkende spoorligging voorkomen (Dourlein, 2004). De onderhoudskosten gaan ook omlaag door het vermijden van te veel uitgevoerd onderhoud of boetes door te weinig onderhoud. Hiermee wordt ook bijgedragen aan topdoelen van de opdrachtgever (ProRail) om de spoorinfrastructuur in Nederland veilig, duurzaam, beschikbaar en betrouwbaar te houden voor vervoerders, reizigers en de maatschappij (ProRail, 2013).

Echter, gericht liggingsonderhoud is nu niet het geval. Ten eerste worden door ASSET Rail delen van de spoorligging gecorrigeerd, terwijl dit op basis van de prestatienorm en kosten niet noodzakelijk is. Hierdoor wordt normatief goed liggend spoor onnodig verstoord. Ten tweede wordt door ASSET Rail nog ongepland liggingsonderhoud uitgevoerd op delen van de spoorinfrastructuur. ASSET Rail noemt dit reactief onderhoud. Het liggingsonderhoud is daardoor niet voldoende doeltreffend, vermindert de financiële winst en is niet klantgericht. Ook moet de opdrachtgever weten wat hij kan verwachten. ASSET Rail wil naar volledig proactief liggingsonderhoud, waaraan Xeiz RG bijdraagt. Naast gerichte onderhoudsacties wordt het hierdoor ook mogelijk geplande buitendienststellingen voor het liggingsonderhoud gericht te plannen. Structurele afwijkingen van de spoorligging zijn dan eveneens aantoonbaar, waardoor bovenbouwvernieuwingen voor de toekomst onderbouwd geadviseerd kunnen worden (Kuipers, persoonlijke communicatie).

ARCADIS en ASSET Rail stellen dat zowel Xeiz RG als ASSET Rail samen moeten aansluiten op het succesvol uitvoeren van gericht liggingsonderhoud. Volgens ARCADIS en ASSET Rail is alleen Xeiz RG als nieuwe technologie is niet voldoende om gericht het liggingsonderhoud te voorspellen.

## 1.2 PROBLEEM

ARCADIS en ASSET Rail vragen om verbetering van het huidige liggingsonderhoud. Xeiz RG voorspelt weliswaar wanneer en waar de spoorligging gecorrigeerd dient te worden, maar ondanks de technische mogelijkheden voert ASSET Rail nog niet geheel gericht liggingsonderhoud uit. Met de ontwikkeling van het raamwerk (hoofdstuk 3) is dit probleem geplaatst in de wetenschappelijke context. Het voorspellen van de toekomstige onderhoudslocatie en bijbehorende tijdstip wordt in deze context predictief onderhoud genoemd. De probleemstelling van het onderzoek luidt hiermee:

**Het huidige proces van liggingsonderhoud binnen ASSET Rail sluit niet aan bij de strategie van ASSET Rail om predictief liggingsonderhoud te implementeren ter instandhouding van de spoorligging binnen de gestelde prestatienorm.**

## 1.3 DOELSTELLING EN ONDERZOEKSVRAGEN

### 1.3.1 DOELSTELLING

Het bijdragen aan de oplossing van het probleem vraagt allereerst om een analyse van de factoren die invloed hebben op het probleem. Onvoldoende inzicht in de factoren geeft het risico dat de voorgestelde oplossingen niet de oorzaken of de verkeerde oorzaken aanpakken. ARCADIS en ASSET Rail vragen om concrete aanbevelingen voor de toepassing van predictief liggingsonderhoud. Dit leidt tot de volgende doelstellingen:

#### *Externe Doelstelling*

**Het doel van het onderzoek is het beheersen van de spoorligging met gericht predictief liggingsonderhoud binnen ASSET Rail en ARCADIS.**

#### *Interne Doelstelling*

**Het doel in het onderzoek is het verklaren welke factoren de implementatie van volledig predictief liggingsonderhoud binnen ARCADIS en ASSET Rail beïnvloeden en hoe deze factoren beïnvloed kunnen worden, ter bevordering van de implementatie.**

### 1.3.2 ONDERZOEKSVRAGEN

Met behulp van de methodiek van Verschuren en Doorewaard (2007) zijn de onderzoeksvragen geformuleerd. Uit de interne doelstelling kunnen beschrijvende onderzoeksvragen worden geformuleerd op basis van de kernbegrippen in deze interne doelstelling. De kernbegrippen hierin zijn: factoren, implementatie, predictief, liggingsonderhoud, organisatie. Het kernbegrip *factor* is ingebed in de eerste onderzoeksvraag, door te vragen *wat* nodig is. De andere vier kernbegrippen vormen beschrijvende deelvragen van deze centrale vraag.

1. **Wat is nodig om predictief liggingsonderhoud te implementeren in een organisatie?**
  - a. Wat zijn belangrijke kenmerken van liggingsonderhoud ter instandhouding van de spoorligging binnen de gestelde prestatienorm?
  - b. Wat zijn belangrijke kenmerken van predictief onderhoud?
  - c. Wat zijn belangrijke kenmerken van een succesvolle implementatie in organisaties?

De werkelijke situatie is echter nog onduidelijk en de gevonden factoren uit deze eerste vraag vormen alleen een onderzoeksperspectief waarmee naar verklaringen wordt gezocht. De onderstaande verklarende onderzoeksvraag is:

2. **Waarom sluit het huidige proces van liggingsonderhoud binnen ASSET Rail niet aan bij de strategie van ASSET Rail om predictief liggingsonderhoud te implementeren, ter instandhouding van de spoorligging binnen de prestatienorm?**

Het antwoord op de tweede onderzoeksvraag verklaart welke en waarom deze factoren invloed hebben op het predictief liggingsonderhoud. Verbetering van het predictief liggingsonderhoud met het beheersen van de invloedsfactoren leidt tot de onderstaande ontwerpende onderzoeksvraag.

**3. Hoe moet het huidige liggingsonderhoud binnen ASSET Rail veranderen om predictief liggingsonderhoud te verbeteren?**

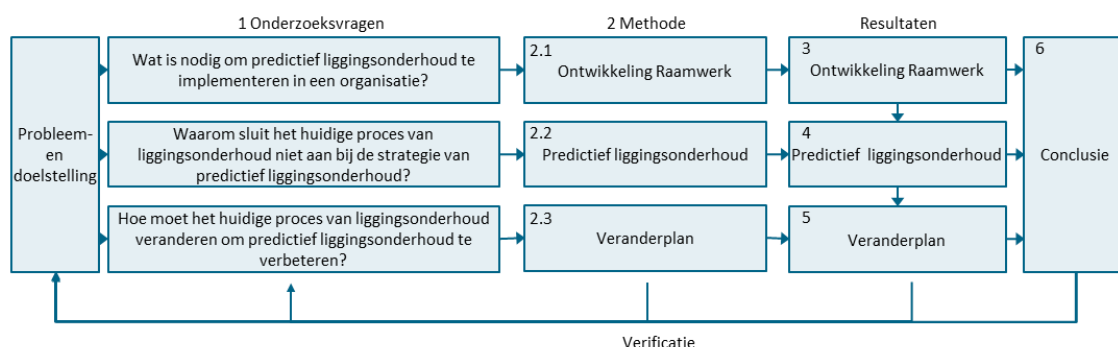
### 1.3.3 WETENSCHAPPELIJKE, PRAKTISCHE EN MAATSCHAPPELIJKE RELEVANTIE

Toegepast op trans-organisatorisch niveau leidt de combinatie van de kennisvelden liggingsonderhoud, onderhoudsstrategieën en organisatieverandering tot het verklaren van de invloedsfactoren op het proces van predictief liggingsonderhoud. De conclusies in dit onderzoek vormen een eerste stap tot onderzoek naar predictief liggingsonderhoud en het toepassen van deze onderhoudsstrategie binnen spooraanneemers-organisaties.

Het verklaren van invloedsfactoren voor predictief liggingsonderhoud draagt bij aan de oplossing om de toepassing van predictief liggingsonderhoud binnen ASSET Rail te verbeteren. ARCADIS krijgt inzicht hoe hun advies moet aansluiten om predictief liggingsonderhoud te kunnen toepassen bij een spoor-aannemer. Dit moet op den duur bijdragen aan het vergroten van de beschikbaarheid van de Nederlandse spoorinfrastructuur en het verlagen van de maatschappelijke kosten om het liggingsonderhoud uit te voeren.

## 1.4 LEESWIJZER

De huidige introductie (hoofdstuk 1) beschrijft het probleem van ARCADIS en ASSET Rail binnen de maatschappelijke context en de bijbehorende probleem-, doelstelling en onderzoeksvragen. De methode (hoofdstuk 2) beschrijft per onderzoeksvraag hoe is gekomen tot de resultaten van het conceptueel raamwerk, verklaring van de factoren en het veranderplan. De raamwerkontwikkeling (hoofdstuk 3) beschrijft welke kennis over het probleem bekend is bij deskundigen en literatuur. Dit geeft als resultaat een conceptueel raamwerk met factoren die verwacht worden invloed te hebben op het proces van predictief liggingsonderhoud binnen ARCADIS en ASSET Rail. Voortkomend uit het conceptueel raamwerk geeft de analyse van het huidige proces van liggingsonderhoud (hoofdstuk 4) antwoord op de tweede onderzoeksvraag. De verandering naar het gewenste proces met de factoren die hierop invloed hebben worden behandeld in het veranderplan (hoofdstuk 5). De conclusie (hoofdstuk 6) reflecteert holistisch op het onderzoek, met aanbevelingen voor vervolgonderzoek.



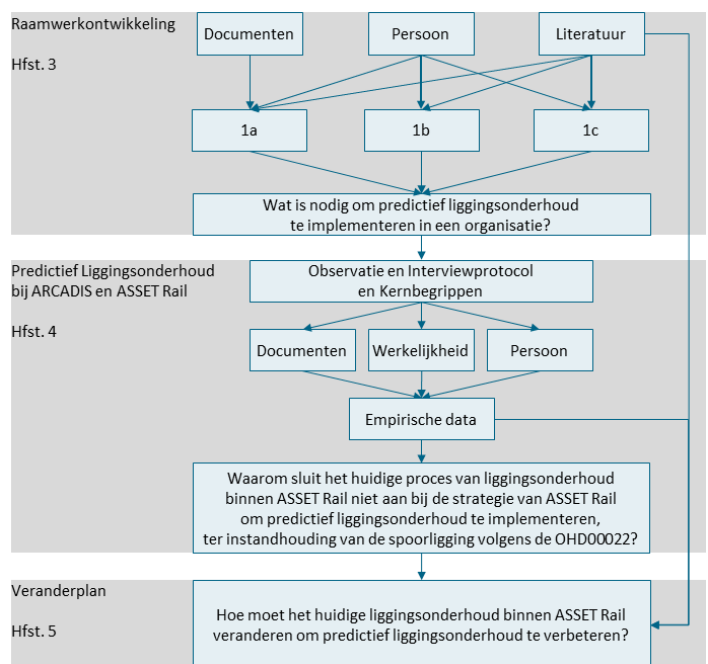
Afbeelding 3 Schematische weergave van de leeswijzer

# 2 Methode

## 2.1 INTRODUCTIE

In dit hoofdstuk worden afzonderlijk de methoden voor het beantwoorden van de drie onderzoeksvragen beschreven. Elke onderzoeksvraag vroeg namelijk om een andere methode voor beantwoording (zie Afbeelding 4).

Het onderzoek had een exploratieve benadering, omdat onderzoek naar het proces van predictief liggingsonderhoud nog niet eerder heeft plaatsgevonden. Diepgaand, kwalitatief en empirisch onderzoek binnen ASSET Rail en het team Xeiz RG van ARCADIS gaf meer inzicht in het proces van predictief liggingsonderhoud. De kennis van de gefundeerde theoriebenadering droeg bij aan het inzichtelijk krijgen van de complexe situatie en bijbehorend proces (Boeijje, 2010; Leedy en Ormnod, 2010; Verschuren & Doorewaard, 2007). De complexe situatie in dit onderzoek bestond uit de invloed van de organisatie, medewerkers en technologie op het onderhoudsproces van predictief liggingsonderhoud, waarbij zowel ARCADIS als ASSET Rail betrokken zijn. Het conceptueel raamwerk met de te verwachten factoren en kwalitatieve inhoudsanalyse van de empirische data doormiddel van coderen, leidde tot de verklaring van de invloedsfactoren op het huidige onderhoudsproces. Op basis hiervan is een veranderplan voor verbetering ontworpen waarin ook de invloed van de factoren is beschouwd.



Afbeelding 4 Schematische weergave onderzoeksmethode

## 2.2 ONTWIKKELING RAAMWERK

### 2.2.1 ONDERZOEKSBENADERING

Uitgaande van de probleem-en doelstelling is de literatuur bestudeerd en zijn deskundigen ondervraagd binnen de kennisvelden liggingsonderhoud, onderhoudsstrategieën en organisatieverandering voor de ontwikkeling van het raamwerk. Bestudering van deze kennisvelden leidde tot de beantwoording van de drie deelvragen. Synthese van de antwoorden op de deelvragen leidde tot de beantwoording van de eerste



onderzoeksvraag met als resultaat het conceptueel raamwerk met factoren. Van deze factoren wordt verwacht dat zij invloed hebben op het predictief liggingsonderhoud bij ASSET Rail. Het raamwerk vormt het onderzoeksperspectief voor het empirisch onderzoek naar het proces van predictief liggingsonderhoud.

### 2.2.2 ONDERZOEKSMATERIAAL

Voor het onderzoeksmateriaal is bronnentriangulatie toepast, ter vergroting van de diepgang van het onderzoek (Verschuren en Doorewaard, 2007) en verbreding van het onderzoeksperspectief. Het onderzoeksmateriaal bestond uit medewerkers van ARCADIS, deskundigen binnen de drie kennisvelden, (wetenschappelijke) literatuur en bijeenkomsten van partijen uit de spoorbranche (zie hoofdstuk 7 voor de bronnen) om. Boeken gaven inzicht voor de antwoorden op de drie deelvragen. De wetenschappelijke autoriteit op het gebied van het Nederlandse liggingsonderhoud is het boek *Modern Railway Track* (Esveld, 2001). Binnen de wetenschappelijke context van onderhoudsstrategieën beschrijft Moubray (1997) in zijn boek de methodiek van *Reliability Centred Maintenance II* (RCM). Dit was belangrijk onderzoeksmateriaal, omdat deze methodiek ook binnen het onderhoudsproces van ASSET Rail wordt gebruikt. Het boek *The Theory and Practice of Change Management* (Hayes, 2010) bevat gebundelde kennis en theorieën op het gebied van veranderingen in organisaties in het algemeen, waardoor snel inzicht in dit kennisveld werd verkregen. Onderzoeken van Bengtsson (2008) en het IAEA (2007) gaven concretere kenmerken over de implementatie van toestandsafhankelijk onderhoud, waarvan verwacht wordt dat deze van invloed zijn op de implementatie van predictief liggingsonderhoud bij ASSET Rail.

### 2.2.3 DATAVERZAMELING EN ANALYSE

De start voor een snelle en brede oriëntatie van kennis over liggingsonderhoud en onderhoudsstrategieën waren gesprekken met medewerkers binnen de marktgroep Rail van ARCADIS, deskundigen op gebied van liggingsonderhoud en bezoeken aan de kennistafel spoorgeometrie van ProRail. De eerste kennis van organisatieveranderingen komt voort uit het *Change Management and Human Resources* (gedoceerd aan de Universiteit Twente). Daarnaast gaf een gesprek met een PhD-student op het gebied van change management, handvatten voor literatuur over organisatieverandering. De zoekmachines Scopus, ScienceDirect en Google Scholar zijn ook gebruikt voor wetenschappelijke literatuur over de kennisvelden liggingsonderhoud, onderhoudsstrategieën en organisatieveranderingen en is respectievelijk gezocht met de keywords: *track geometry*, *maintenance* met varianten hierop, *condition-based maintenance*, *maintenance strategy*, *corrective*, *preventive* en *predictive maintenance*, RCM met varianten hierop en *implementation in organizations*, *implementing condition-based maintenance*, *implementing predictive maintenance* en varianten op deze keywords.

Vervolgens werden de gesprekken en literatuur op inhoud geanalyseerd, waarbij het principe van de literatuurmatrix is gebruikt voor een gestructureerde analyse. De literatuurmatrix geeft een overzicht van bruikbare data per bron en de relatie met relevante data van andere bronnen, voor het analyseren en beantwoorden van de deelvragen. Voor het liggingsonderhoud is gezocht op: *wat is liggingsonderhoud*, *waarom liggingsonderhoud* en *hoe het liggingsonderhoud tot stand komt*. Voor onderhoudsstrategieën is gezocht op: *welke onderhoudsstrategieën*, *de onderhoudsmethodiek RCM* en *het verschil tussen toestandsafhankelijk onderhoud en predictief onderhoud*. Voor organisaties en veranderingen is gezocht op: *algemene verander- en implementatie theorieën* en *implementatie van toestandsafhankelijk onderhoud*. Voor de analyse is gebruik gemaakt van het softwareprogramma NVivo 2010 dat het mogelijk maakt alle kwalitatieve data in één database te verzamelen en te analyseren volgens het principe van de literatuurmatrix.

## 2.3 PREDICTIEF LIGGINGSONDERHOUD BINNEN ARCADIS EN ASSET RAIL

### 2.3.1 ONDERZOEKSBENADERING

Het empirisch onderzoek is uitgevoerd vanuit het perspectief van het conceptueel raamwerk (zie paragraaf 3.5), omdat verwacht wordt dat de factoren in dit raamwerk invloed hebben op het onderhoudsproces. De gebruikte methode is een vorm van sequential explanatory (Boeijje, 2010; Leedy & Ormrod, 2010). Eerst zijn kwantitatieve data verzameld om snel van een grote groep binnen de onderzoekspopulatie inzicht te krijgen in hun kennis, belangen en ideeën van de factoren in relatie tot het predictief liggingsonderhoud. Uit deze resultaten zijn vervolgens kwalitatieve data verzameld voor de verklaringen van deze en nieuwe, nog niet ter sprake gekomen invloedsfactoren.

### 2.3.2 ONDERZOEKSMATERIAAL

Het onderzoeksmateriaal bestond uit personen en documenten binnen ARCADIS en ASSET Rail en de werkelijke uitvoering van het liggingsonderhoud ter vergroting van de triangulatie. Medewerkers werden geselecteerd op functies binnen team Baan, onderhoudsmanagement, schouw en algemeen management. De bezoeken aan ASSET Rail leidde ook tot toevoeging van andere personen die relevant bleken voor de invloed op het liggingsonderhoud. Het uitgangspunt voor de selectie van personen binnen ARCADIS was het organisatieschema van team Xeiz RG. Hierin werden alle personen geselecteerd met uitzondering van de personen die zich richten op het contact met de branche en andere aannemers, aangezien dit niet binnen de scope van het onderzoek valt. Documenten bestonden uit processchema's van ARCADIS en ASSET Rail. Voor het waarborgen van de anonimiteit zijn de namen van de personen niet gepubliceerd.

### 2.3.3 DATAVERZAMELING EN ANALYSE

#### *Enquête*

De te verwachten factoren uit het conceptueel raamwerk zijn van een te groot aantal om deze allemaal met de medewerkers te bespreken. Daarom is voorafgaand aan de interviews een enquête gestuurd om inzicht te krijgen hoe alle medewerkers staan tegenover de invloedsfactoren en de huidige invloed hiervan binnen ARCADIS en ASSET Rail. De kwantitatieve data zijn verzameld onder de medewerkers van team Xeiz RG en ASSET Rail (zie Bijlage 2). De enquête is voor de duur van twee weken online gezet met behulp van Thesistools.nl en per e-mail verstuurd naar 39 personen. Acht dagen na het versturen van de enquête is nogmaals per e-mail een verzoek verstuurd naar personen die nog geen response hadden gegeven.

Vraag 1 t/m 3 van de enquête vraagt om de demografische gegevens van de respondenten, waardoor de resultaten geordend kunnen worden op organisatie en functie. Vraag 4 t/m 6 leidt tot een eerste inzicht van respondenten over hun kennis van predictief liggingsonderhoud en de betrokkenheid van ARCADIS met Xeiz RG. Verondersteld wordt namelijk dat wanneer het overgrote deel van de betrokken personen niet bekend is met predictief liggingsonderhoud, dit bijdraagt aan de verklaring waarom predictief liggingsonderhoud niet volledig wordt toegepast. Vraag 9 t/m 10 toetst de toepassing van de te verwachten factoren uit het raamwerk op het predictief liggingsonderhoud van ASSET Rail. De factoren zijn in de vorm van stellingen beschreven. Aan de respondenten is gevraagd in hoeverre zij deze factor belangrijk vinden voor het liggingsonderhoud binnen ASSET Rail en of deze ook aanwezig is binnen het liggingsonderhoud. Indien zij hier geen antwoord op kunnen geven, vinken zij 'geen idee' aan. Als zij niet bekend zijn met een factor, zou verondersteld kunnen worden dat predictief liggingsonderhoud niet volledig bekend is bij alle medewerkers, terwijl uit het raamwerk verwacht wordt dat dit nodig is voor predictief onderhoud. Vraag 11 geeft de respondenten de mogelijkheid factoren te noemen die zij belangrijk vinden, maar niet zijn genoemd in de vragenlijst.

De kwantitatieve en kwalitatieve data van de respondenten werden gedownload vanaf thesistools.nl. Met de kwantitatieve data zijn de respondenten op basis van de demografische data handmatig geclusterd en geanalyseerd op organisatie en functie. De functies zijn breed geformuleerd, omdat specifieke functies herleidbaar kunnen zijn naar specifieke personen (zie Bijlage 2.2). Onbetrouwbare data worden niet gebruikt voor het onderzoek. De data zijn onbetrouwbaar, als blijkt dat een respondent geen tot beperkt de enquête heeft ingevuld of als uit reacties van respondenten blijkt dat zij vragen niet snappen. Uit reacties van e-mails en interviews werd vastgesteld dat een aantal respondenten niet alle stellingen uit de enquête begrepen, maar toch wat ingevuld hebben om bij te dragen aan de verbetering van het liggingsonderhoud. Dit betekent dat de antwoorden op de stellingen niet betrouwbaar zijn en zijn daarom niet meegenomen in de analyse van de enquête. Een proefenquête had dit kunnen voorkomen. De kwalitatieve data van vraag 11 zijn achtereenvolgens geanalyseerd met open en axiaal coderen.

### Interviews

Naast de open vraag uit de enquête zijn de kwalitatieve data hoofdzakelijk verzameld door middel van negen diepte-interviews. In vergelijking met een enquête geeft deze methode de mogelijkheid tot het dieper ingaan op gegeven antwoorden. De interviews verklaren *waarom* de factoren uit het raamwerk volgens de respondenten al dan niet belangrijk zijn, al dan niet worden toegepast binnen ASSET Rail en/of ARCADIS en welke factoren de respondenten nog meer van belang vinden (zie Bijlage 3). Met onderdeel B van het interview werd een verklaring gezocht voor het al dan niet bekend zijn met predictief liggingsonderhoud en de betrokkenheid van ARCADIS en Xeiz RG, als verklarende aanvulling op vraag 4 t/m 6 en vraag 11 van de enquête. In het interview werd doorgevraagd wanneer de onderzoeker het gevoel kreeg dat het een antwoord gewenst, niet volledig, of onduidelijk bleef. Onderdeel C richtte zich op de te verwachten invloedsfactoren uit het raamwerk, met behulp van de stellingen die door de geïnterviewde in de enquête zijn ingevuld. Zoals in de methode van de enquête werd beschreven, waren de antwoorden op de stellingen niet betrouwbaar genoeg om op basis van een statistische analyse de stellingen te selecteren voor de interviews. Voor de selectie van invloedsfactoren (zie onderdeel C van het interviewprotocol) zijn de enquêteresultaten van de stellingen en de open vraag gecombineerd met het inzicht van de onderzoeker en de antwoorden op de open vraag van de enquête (zie Bijlage 2.2). Heel belangrijk vonden respondenten onder andere: *samenwerking tussen medewerkers onderling, terugkoppelen uitgevoerd onderhoud, verantwoordelijkheid en kennis en ervaring van medewerkers*. Wat zij helemaal niet belangrijk vonden is de *kennis over preventief onderhoud*. Verspreid waren de respondenten over *betrokkenheid van het management, de reactieve houding van medewerkers en het financieel rendement*. Deel D omvat een open vraag waarin de geïnterviewde aanvullende factoren kon geven op basis van nieuwe inzichten die hij tijdens het interview had gekregen.

Om representatieve data te krijgen is binnen elke activiteit in het onderhoudsproces één persoon geselecteerd. Binnen team Xeiz RG is dit de projectmanager, projectleider en twee specialisten. Binnen ASSET Rail zijn het hoofd Realisatie, een onderhoudsmanager, een specialist Baan, een uitvoerder en een willekeurige hoofdmonteur. Door de interviews te houden binnen de kantoren van de organisaties werden de participanten niet belast met extra reistijd en konden de gesprekken plaatsvinden in een voor hen bekende omgeving. De interviews zijn bij alle respondenten, met uitzondering van één respondent, audiomatig opgenomen. Hierdoor werden de ruwe data slijtvast en hoefde de onderzoeker zich niet bezig te houden met het schrijven van aantekeningen tijdens het interview. Voor de kwalitatieve inhoudsanalyse zijn de interviews getranscribeerd. Voor het waarborgen van de anonimiteit zijn de transcripties niet openbaar.

### Informele gesprekken

De kwalitatieve data werden aangevuld met informele gesprekken. Deze vormen een waardevolle aanvulling op de interviews en observatie, omdat de gesprekken soms leidde tot nieuwe perspectieven en

factoren. Soms uitten de personen een voor hen onaangename situatie welke invloed leek te hebben op het predictief liggingsonderhoud. De gesprekken zijn schriftelijk vastgelegd in memo's op basis van aantekeningen. Doordat de gesprekken informeel, veelal participierend en tijdens de dagelijkse werkzaamheden van werknemers plaatsvonden, wordt aangenomen dat deze data betrouwbaar zijn.

### Observatie

De observatie had als doel inzicht te krijgen in de uitvoering van het liggingsonderhoud als onderdeel van het onderhoudsproces. De observatie levert data, die niet binnen de literatuur en gesprekken met medewerkers aanwezig is. Het gebruikte observatieprotocol in Bijlage 4 beschrijft de punten waarop werd gelet tijdens het observeren van liggingsonderhoud in het veld. Deze aandachtspunten komen voort uit de factoren die in het raamwerk zijn beschreven en verwacht werden invloed te hebben op het liggingsonderhoud. In overleg met de specialist Baan is een buitendienststelling geselecteerd waarin het liggingsonderhoud werd geobserveerd.

### Documenten

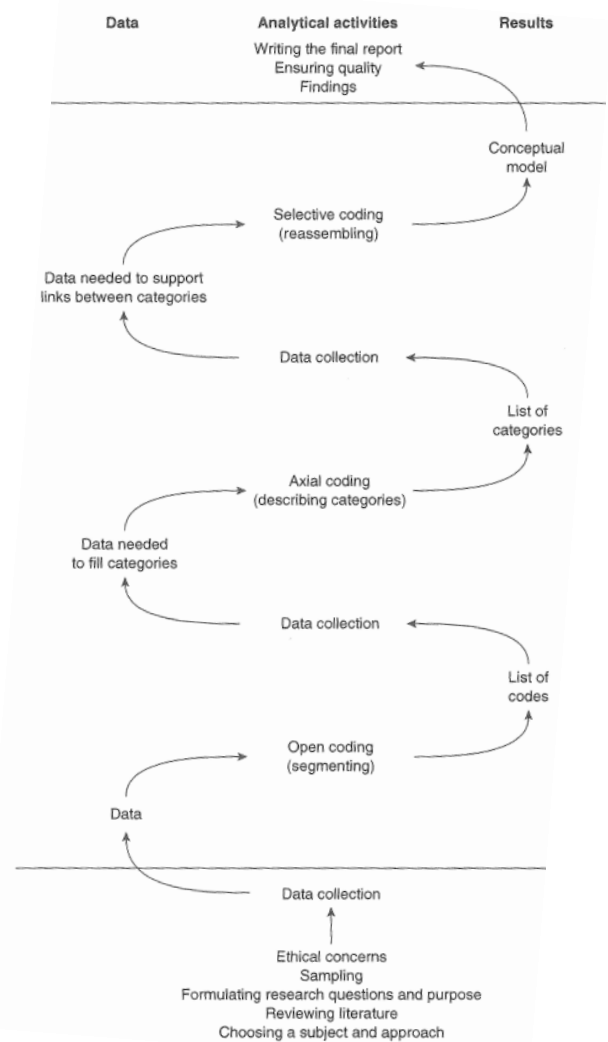
Documenten binnen ASSET Rail en ARCADIS hebben schematisch het onderhoudsproces vastgelegd (ARCADIS, 2013a; ASSET Rail, 2011, 2014). De basis voor het huidige proces van liggingsonderhoud komt voort uit deze documenten. Daarnaast werden documenten geselecteerd die uitleg gaven over gebruikte digitale systemen en onderdeel van het liggingsonderhoud, zoals werkmappen en registratieformulieren voor monteurs en onderhoudsmanagement- en beslissingsondersteunende systemen.

### Kwalitatieve inhoudsanalyse

De data uit de enquête, gesprekken, documenten en observaties zijn op verschillende manieren geanalyseerd. De enquête werd kwantitatief geanalyseerd en de overige data door kwalitatieve inhoudsanalyse. Voor de kwalitatieve inhoudsanalyse werd in eerste instantie de methode van coderen in combinatie met de analysespiraal van Boeije (2010) en Leedy & Ormrod (2010) gebruikt, dat leidde tot een gestructureerde en convergerende analyse van de belangrijkste factoren. Deze methode is schematisch weergegeven in Afbeelding 5. Ook voor de beantwoording van deze onderzoeksvraag is het softwareprogramma NVivo 2010 gebruikt. Het programma ondersteunt het analyseren van de data in één database met hieraan gelinkte memo's, die interpretaties van de onderzoeker bevatten. De lijst van categorieën en bijbehorende kernbegrippen zijn te vinden in Bijlage 5. Vervolgens zijn de categorieën en kernbegrippen met bijbehorende tekstfragmenten beschreven en onderbouwd met interpretatie van de onderzoeker. Het selectief coderen werd tijdens het schrijven en herstructureren vervuld doordat de relaties tussen de categorieën duidelijk werden.

### Huidig proces

Het huidige proces van predictief liggingsonderhoud is beschreven en gevisualiseerd vanuit een trans-



Afbeelding 5 Kwalitatieve inhoudsanalyse door toepassing van de analysespiraal (Boeije, 2010)

organisatorisch perspectief. Het trans-organisatorisch perspectief (Hayes, 2010) is nodig omdat zowel ARCADIS als ASSET Rail onderdeel zijn van het onderhoudsproces. De bestaande gedocumenteerde processchema's van ARCADIS en ASSET Rail kwamen niet overeen met het werkelijke onderhoudsproces. Analyse van de verzamelde data met de daaruit voortgekomen invloedsfactoren leidden tot beschrijving en visualisatie van het huidige proces. Zowel team Xeiz RG van ARCADIS als ASSET Rail zijn vanuit hetzelfde abstractieniveau beschreven vanwege de consistentie. De deelprocessen binnen de activiteiten zijn buiten beschouwing gelaten, tenzij deze, of beslissingsmomenten en resultaten, relatie hebben met de invloedsfactoren. Voor de processchema's zijn de symbolen gebruikt volgens de ISO 5807:1985. Het huidige proces is gevalideerd om aan te tonen in hoeverre het werkelijke huidige proces van liggingsonderhoud is beschreven en gevisualiseerd. Validatie is namelijk nodig om te toetsen of de onderzoeker waarneemt wat hij beoogt waar te nemen (Boeije, 2010; Leedy & Ormrid, 2010). De validiteit is gedurende de iteratieve ontwikkeling van het huidige proces getoetst door feedback van collega's en de respondenten uit de interviews en informele gesprekken. Het eindresultaat is vervolgens gevalideerd met de respondenten van de interviews door aan hen de vraag te stellen: Ben je het wel of niet eens met de inhoud en waarom? Bijlage 8 bevat de naar respondenten gestuurde e-mail voor validatie.

## 2.4 VERANDERPLAN

### 2.4.1 ONDERZOEKSBENADERING

Het veranderplan beschrijft wat veranderd moet worden om gericht predictief liggingsonderhoud toe te passen en de factoren die hierop invloed hebben. Om het onderzoek binnen geplande tijdsduur af te ronden, vroeg het veranderplan om een snelle, maar onderbouwde en pragmatische aanpak. De pragmatische aanpak vergroot de kans op een succesvolle verandering naar het gewenste proces van predictief liggingsonderhoud doordat het plan ontworpen is vanuit het huidige onderhoudsproces en aangedragen oplossingen van medewerkers. Validatie van het veranderplan controleerde of het gewenste proces en de hiervoor benodigde interventies leiden tot het gericht toepassen van predictief liggingsonderhoud.

### 2.4.2 ONDERZOEKSMATERIAAL

Naast het gebruik van de empirische data is gebruik gemaakt van het boek *The Theory and Practice of Change Management* van Hayes (2010) om inzicht te krijgen op het plannen van een verandering (zie Afbeelding 15). Ondanks dat meer literatuur voorhanden is, vergelijkt Hayes verschillende theorieën en literatuur, waardoor tijd werd bespaard. Voor de validatie van het veranderplan zijn collega's van ARCADIS en de respondenten uit het empirisch onderzoek wederom benaderd, omdat zij onderdeel zijn van de verandering.

### 2.4.3 DATAVERZAMELING EN ANALYSE

Het uitgangspunt voor het veranderplan waren het huidige proces (zie Afbeelding 26) met de invloedsfactoren (zie paragraaf 4.4) en de aangedragen oplossingen van de respondenten uit het empirisch onderzoek. De validiteit is gedurende iteratieve de ontwikkeling van het veranderplan getoetst door feedback van collega's en de respondenten uit de interviews en informele gesprekken. Het eindresultaat is vervolgens gevalideerd met de respondenten van de interviews door aan hen de vraag te stellen: Ben je het wel of niet eens met de inhoud en waarom? Bijlage 8 bevat de naar respondenten gestuurde e-mail voor validatie.

## 3

## Ontwikkeling Raamwerk

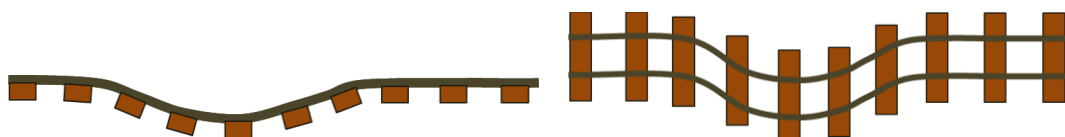
## 3.1 INTRODUCTIE

Zoals in het vorige hoofdstuk is beschreven leidt de raamwerkontwikkeling tot het onderzoeksperspectief met de te verwachten invloedsfactoren, waarmee het empirisch onderzoek binnen ARCADIS en ASSET Rail wordt uitgevoerd. Dit hoofdstuk beschrijft de ontwikkeling van het raamwerk door te beantwoorden wat verwacht wordt nodig te zijn om predictief liggingsonderhoud te implementeren in een organisatie. Hiervoor zijn de kenmerken van liggingsonderhoud, predictief onderhoud en organisatieveranderingen beschreven en gesynthetiseerd ter beantwoording van deze eerste onderzoeksvraag.

## 3.2 LIGGINGSONDERHOUD

*Definitie liggingsonderhoud*

Liggingsonderhoud omvat de *instandhouding* van de *spoorgeometrie*. Van Dongen (2011) omschrijft *instandhouding* als een combinatie van technische, administratieve en managementactiviteiten die nodig zijn om een asset te onderhouden of terug te brengen naar de gewenste conditie, zodat zijn functie kan worden vervuld. De fysieke asset in de context van dit onderzoek is de spoorinfrastructuur met als onderdeel de spoorgeometrie. De *spoorgeometrie* is de ligging van het spoorframe in het driedimensionale vlak. Het spoorframe is het samenspel van spoorstaven, met de bevestiging op dwarsliggers of civieltechnische kunstwerken. De gewenste conditie van de spoorgeometrie voor de Nederlandse spoorinfrastructuur is vastgelegd in de OHD00022 (ProRail, 2009). In dit document staan de prestatienormen waaraan de spoorgeometrie moet voldoen. De normen zijn voor verschillende parameters van de spoorgeometrie voorgeschreven, waaronder *hoogte* en *schift*. De parameter *hoogte* is de relatieve afwijking in het verticale vlak, gemeten tussen twee punten. *Schift* is de relatieve afwijking in het horizontale vlak, gemeten tussen twee punten. Deze parameters zijn visueel weergegeven in Afbeelding 6. De afbeelding geeft de afwijking van de spoorgeometrie in het verticale alignement weer met de parameter *hoogte* en de afwijking in het horizontale alignement weer met de parameter *schift*. De afwijking van de spoorgeometrie is te groot wanneer de hoogte en schift de prestatienorm overschrijden. In dit onderzoek zijn afwijkingen in de spoorgeometrie afgebakend op de parameters hoogte en schift. Dit zijn namelijk de belangrijkste parameters binnen de analyse met Xeiz RG en daarnaast worden deze parameters gebruikt als referentie tijdens het corrigeren van de spoorligging.

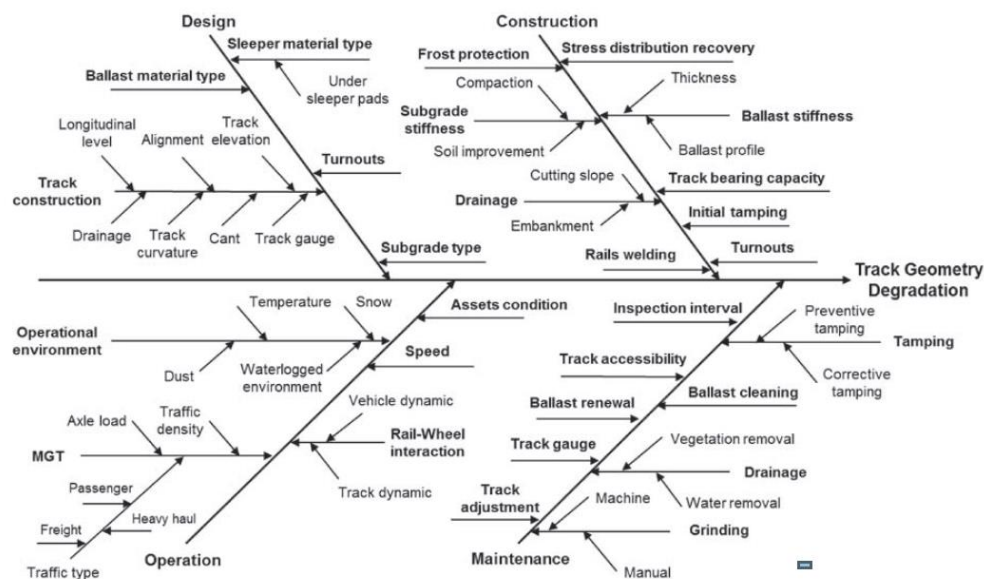


Afbeelding 6 Degradatie van de spoorgeometrie van de parameters *hoogte* (doorsnede) en *schift* (bovenaanzicht)



### Degradatie spoorgeometrie

Het groter worden van de afwijkingen in de spoorgeometrie wordt degradatie van de spoorgeometrie genoemd. De degradatie van de spoorgeometrie over de tijd is weergegeven in degradatiecurven. De degradatiecurve hangt af van verschillende factoren (zie Afbeelding 7), waaronder het spoorontwerp, de spoorbouw, het gebruik van het spoor en het onderhoud aan het spoor (Arasteh Khouy, 2013; Esveld, 2001; Joksimovic & Van der Werf, n.d.; Westgeest et al, 2012). Met deze veelvoud aan factoren zijn standaard degradatiecurven onvoldoende voor het bepalen van het benodigde liggingsonderhoud (Esveld, 2001; Roberts & Dollevoet, persoonlijke communicatie, 2014). Het vaststellen van degradatie van de spoorgeometrie vraagt om objectieve data, door de hoogte en schift van het spoor te monitoren over de tijd (Union International des Chemins de Fer [UIC], 2010).



Afbeelding 7 Ishikawa diagram van oorzaken die leiden tot de degradatie van de spoorgeometrie (Arasteh Khouy, 2013)

### Monitoring spoorgeometrie

Om de degradatie van de spoorgeometrie vast te stellen, wordt sinds 2004 in Nederland de toestand van de spoorgeometrie elk voor- en najaar gemeten door een meettrein (Dourlein, persoonlijke communicatie, 2013; Westgeest et al., 2012). De metingen worden door een externe partij verricht met de UFM 120 van Eurailscout B.V. De UFM 120 meet continue de relatieve afwijking van onder andere de parameters hoogte en schift. Deze continue data wordt door Eurailscout omgezet in discrete data met als resultaat de relatieve afwijking van de spoorgeometrie voor elke 25 centimeter (Joksimovic, persoonlijke communicatie). ProRail gebruikt de data van Eurailscout om de huidige kwaliteit van de spoorgeometrie te vergelijken met de voorgeschreven prestatienorm, zodat overschrijdingen in de spoorgeometrie vastgesteld kunnen worden. Naast de halfjaarlijkse metingen met de UFM 120 is er onderzoek gedaan naar het gebruik van aspotversnellingen (Molodova, Li & Dollevoet, 2010). Aspotversnellingen als onderdeel van reguliere wielassen van treinen, meten de afwijkingen in de spoorgeometrie waardoor het in de toekomst mogelijk wordt de spoorgeometrie continue te monitoren, in plaats van halfjaarlijkse monitoring (Dollevoet, persoonlijke communicatie).

Ondanks dat de spoorgeometrie wordt gemonitord door een externe partij, stelt het PGO-contract dat het de taak is van de PCA de conditie van de spoorgeometrie boven de voorgeschreven prestatienorm te houden. Indien de huidige conditie van de spoorgeometrie afwijkt van de norm, wordt de PCA door

ProRail hierop afgerekend in de vorm van een malus. Met kennis over de degradatie van de spoorgeometrie kan de PCA vaststellen wanneer liggingsonderhoud uitgevoerd moet worden om binnen de vastgestelde norm te presteren. Hiervoor gebruiken de PCA's ook de data van de UFM 120. Door het analyseren van de data wordt nieuwe kennis verkregen van de huidige conditie van de spoorgeometrie. De nieuwe kennis gebruiken PCA's in hun contractgebied voor het onderhoudsplan, waarin staat waar en wanneer het benodigde liggingsonderhoud moet worden uitgevoerd.

#### *Data-analyse en het onderhoudsplan*

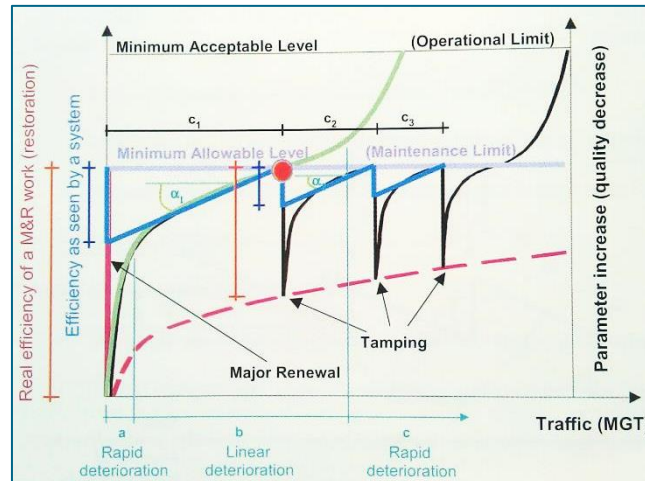
Het plannen van het liggingsonderhoud doet de PCA op basis van expert judgement of beslissingsondersteunende modellen (Esveld, 2001). Met expert judgement bepalen de kennis en ervaring van bijvoorbeeld onderhoudsmonteurs de planning van het liggingsonderhoud (Carretero, 2003; Esveld, 2001; Inspectie Leefomgeving en Transport [ILT], 2013). Veldman (2011) voegt hier intuïtie en het onderbuik gevoel aan toe. Sinds het begin van de 21<sup>e</sup> eeuw nemen beslissingsondersteunende modellen een belangrijke plaats in om het plan voor het liggingsonderhoud te bepalen. In essentie bieden de modellen ondersteuning bij het beheer van de toestand van objecten (Dourlein, 2004). Hieronder valt ook de toestand van de spoorgeometrie. De modellen maken het mogelijk de toestand van de spoorgeometrie in het verleden en het heden vast te stellen. Objectieve data van de spoorgeometrie zijn essentiële input voor de modellen (UIC, 2010). Daarnaast zijn data over de kosten, planningen en uitgevoerd werk ook van belang voor de juiste beslissingen over onderhoud (Dourlein, 2004; Esveld, 2001). In Nederland worden ten minste twee beslissingsondersteunende modellen gebruikt. Het beslissingsondersteunende model IRISsys, dat ontwikkeld is door Erdmann Software, wordt door ProRail en een aantal PCA's in Nederland gebruikt. ASSET Rail gebruikt echter als enige PCA in Nederland, Xeiz Rail Geometrie (Xeiz RG) voor de beslissingsondersteuning.

#### *Planning van onderhoud met voorspellingen*

Xeiz RG is ontwikkeld door ARCADIS. Naast dat Xeiz RG de parameterwaarden van de hoogte en schift in het verleden en heden vaststelt (diagnose), voorspelt dit model ook de parameterwaarden voor de toekomst (prognose) (ARCADIS, 2010). Met het voorspellen van de toekomstige waarden van de spoorgeometrie, wordt vastgesteld wanneer de prestatienormen van de parameters hoogte en schift overschreden worden. Liggingsonderhoud wordt dan pas uitgevoerd ten tijden van overschrijding van de prestatienormen, waardoor de balans tussen de beschikbaarheid en onderhoud aan de spoorinfrastructuur wordt verbeterd (Esveld, 2001).

Esveld (2001) stelt dat er vijf soorten data nodig zijn om de degradatie van de spoorgeometrie te kunnen voorspellen. Deze vijf zijn: onderhoudshistorie, verticale geometrie, laterale geometrie, korte-golf geometrie en data over de infrastructuur. De verticale en laterale geometrie wordt door de UFM 120 geleverd. Na een aantal meetcampagnes is het mogelijk de degradatiecurven van de parameters hoogte en schift per 25 centimeter te tekenen. Esveld (2001) en Lichtberger (2007) stellen dat hierin hypothetisch drie fases zijn te onderscheiden (zie Afbeelding 8). In de eerste fase na vernieuwing of onderhoud treedt snelle onvoorspelbare degradatie op door na-zettingen van de ballast. Na stabilisatie van de ballast start de tweede fase met een lineair degradatiepatroon. De derde en laatste fase is een exponentieel degradatiepatroon dat ongewenst is, omdat dit snel de veiligheid van de spoorinfrastructuur aantast. De analyse van de degradatie moet worden gedaan in de tweede lineaire fase, waarbij met extrapolatie de trend wordt berekend. Hiermee valt af te leiden wanneer de trendlijn de norm overschrijd en weet men dus wanneer liggingsonderhoud uitgevoerd moet worden.

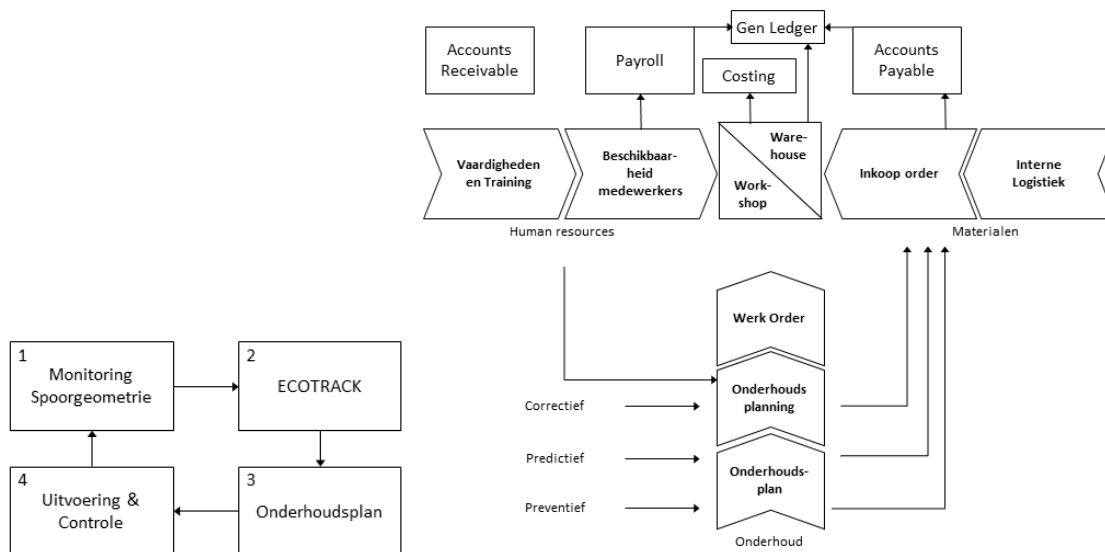




Afbeelding 8 Analyse hypothetische degradatie van de spoorgeometrie volgens de groene lijn (Esveld, 2001)

Het voorgenoemde principe, zoals is geschetst in Afbeelding 8, is geadopteerd in ECOTRACK, dat de voorloper is van Xeiz RG. ECOTRACK is het beslissingsondersteunend model dat door het European Rail Research Institute [ERRI] tussen 1991 en 1998 is ontwikkeld in samenwerking met 24 Europese Spoormaatschappijen (Dourlein, 2004; Esveld, 2001). Dit model maakt onderdeel uit van the 'track maintenance sequence of operations', zoals in Afbeelding 9 is weergegeven. Kijkend vanuit het liggingsonderhoud is de eerste stap het monitoren van toestand van de spoorgeometrie. Stap twee omvat het beslissingsondersteunende model dat wordt vervuld door ECOTRACK. In stap drie maakt de PCA hier vervolgens een onderhoudsplan van, waarna het liggingsonderhoud in stap 4 wordt uitgevoerd en gecontroleerd. Vervolgens herhaalt de cyclus zich weer door de spoorgeometrie te monitoren.

Esveld (2001) stelt dat ECOTRACK, naast de cyclus zoals in Afbeelding 9 is weergegeven, onderdeel is van een Asset Management Systeem (AMS), zie Afbeelding 10. Het AMS draagt bij aan een betrouwbare, beschikbare, kosteneffectieve spoorinfrastructuur waarbij de prestatie van onder andere de spoorgeometrie gehandhaafd blijft. Daarbij is uit Afbeelding 10 af te lezen dat een AMS naast het werk- en onderhoudsplan (ECOTRACK) afhangt van de soort onderhoudsstrategie (correctief, preventief, predictief) maar ook dat de vaardigheden, trainingen van mensen en beschikbaarheid van personeel in de organisatie van belang zijn. Door Esveld (2001) wordt echter niet verder ingegaan op de onderhoudsstrategieën en de organisatorische factoren. Tegelijkertijd stelt hij wel dat ook deze twee elementen van belang zijn voor het beheren van de spoorinfrastructuur. Voorspellend liggingsonderhoud vraagt dus meer dan alleen Xeiz RG als technische ondersteuning. In paragraaf 3.3 en 3.4 worden vanuit het perspectief van respectievelijk onderhoudsstrategieën en organisaties naar het voorspellen van onderhoud gekeken.



Afbeelding 9 Liggingsonderhoud cyclus (Esveld, 2001) Afbeelding 10 Asset Management Systeem (Esveld, 2001)

### Uitvoering liggingsonderhoud

Na de data-analyse en de werkvoorbereiding wordt het liggingsonderhoud uitgevoerd. In het vakjargon wordt dit het stoppen van de ballast genoemd. De afwijkingen in de spoorgeometrie worden namelijk gecorrigeerd door de ballast te trillen, zodat het spoorframe weer afwijkingsvrij kan worden neergelegd. Het stoppen van de ballast wordt handmatig of mechanisch gedaan. De voorkeur gaat uit naar mechanisch stoppen. Het mechanisch onderhoud aan de spoorgeometrie wordt gedaan door stop-schiftmachines. Stop-schiftmachines zijn treinen die de prestatie van de spoorgeometrie verhogen door de afwijkingen te corrigeren. De treinen tillen de spoorstaven op en 'trillen' met stalen naalden in de ballast totdat de juiste geometrie van het spoor wordt bereikt (Afbeelding 11). Stop-schiftmachines voeren het liggingsonderhoud sneller uit, in tegenstelling tot het draagbare handgereedschap dat ook door spoorwerkers kan worden gebruikt (Esveld, 2001; Kuipers, 2006). Het afwijkingsvrij maken van spoorgeometrie wordt met nivelleren en corrigeren gedaan. Nivelleren van de spoorgeometrie gebeurt voor lengten tot 20 meter, terwijl het corrigeren van de spoorgeometrie voor golflengte groter dan 20 meter wordt gedaan (Esveld, 2001; Kuipers, 2006).



Afbeelding 11 Video-screenshot van een stopmachine en draagbaar handgereedschap voor het corrigeren en nivelleren van de spoorgeometrie

### 3.3 ONDERHOUDSSTRATEGIEËN

Terugkijkend op de kenmerken van liggingsonderhoud zijn PCA's grotendeels afhankelijk van de monitoring van een externe partij. Ondanks dat zij afhankelijk zijn van de data van Eurailscout zijn ze onafhankelijk in de wijze van plannen en uitvoeren van het liggingsonderhoud. Zoals Esveld (2001) stelt, hangt de invloed van een beslissingsondersteunend model ook af van de gehanteerde onderhoudsstrategie. De *onderhoudsstrategie* wordt in het kader van dit onderzoek gedefinieerd als de methode waarop het onderhoud wordt gemonitord, gepland en uitgevoerd. Uit de gesprekken met ASSET Rail en ARCADIS blijkt, dat zij overtuigd zijn van de toepassing van predictief onderhoud als optimale strategie voor het liggingsonderhoud (Ahsman, Dourlein, Kuijpers & Rietberg, persoonlijke communicatie). Het is echter belangrijk deze overtuiging met de bestaande literatuur en kennis te reflecteren, alvorens deze overtuiging als uitgangspunt te nemen voor het gewenste proces van liggingsonderhoud.

#### *Soorten onderhoudsstrategieën*

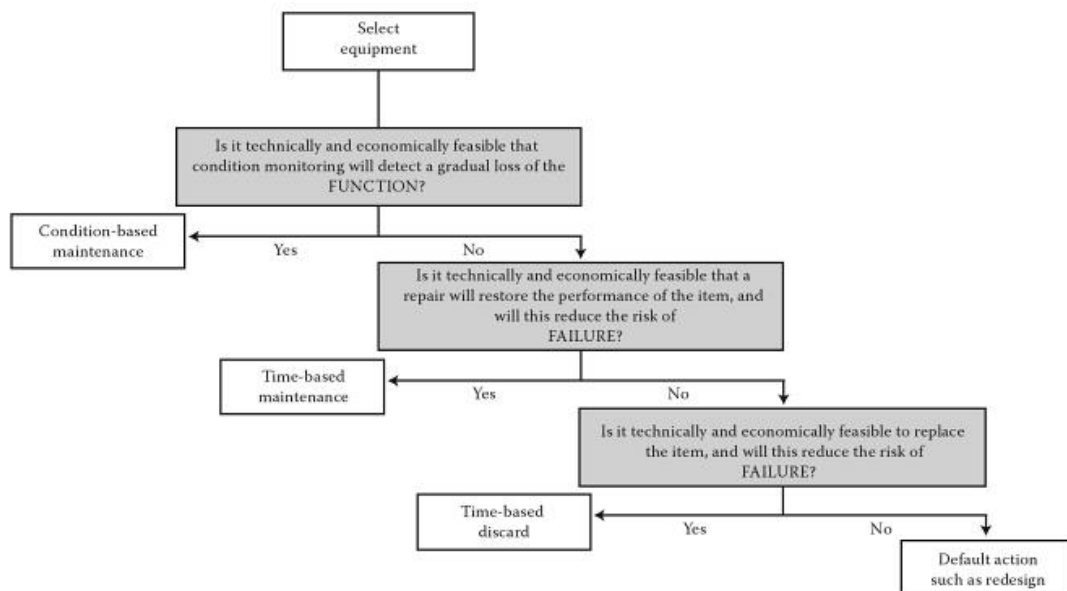
De afgelopen eeuw is door verschillende denkwijzen en methoden de strategie voor onderhoud in het algemeen ontwikkeld. Hierbij is onderscheid te maken tussen correctief, preventief, predictief onderhoud (Kumar, Galar, Parida, Stenström & Berges, 2013; Veldman, 2012). Deze ontwikkeling van visies op onderhoudsstrategieën verdeelt Moubray (1997) in drie generaties. Tot halverwege de jaren vijftig werden assets pas gerepareerd of vervangen wanneer deze in storing vielen. Dit wordt correctief onderhoud genoemd (van Dongen, 2011; Jardine, 2013; Zoeteman, 2004). De gevolgen van storing waren toentertijd gering vanwege de simpliciteit en robuustheid van de assets en reparatie was simpel. Vanaf de jaren vijftig werden assets complexer, werd men afhankelijker van deze assets met als gevolg dat reparatie bij storing zorgden voor hogere kosten in de gebruiksfase. Daarom werd het preventief onderhouden van assets geschikter, door vooraf dit onderhoud te plannen en zo storingen met de bijbehorende hoge kosten te voorkomen (van Dongen, 2011; Jardine, 2013; Moubray, 1997). Echter, vanaf de jaren '70 begint men zich meer zorgen te maken over de betrouwbaarheid, beschikbaarheid en kwaliteit van assets en hun gevolgen voor de veiligheid en het milieu. Nieuw onderzoek stelde vast dat leeftijd niet altijd de oorzaak is van falen, maar dat ook de conditie of toestand van de asset invloed heeft op het falen. Nieuwe technieken en methoden leidden tot inzicht in de invloed van de toestand op assets en hoe met monitoring van de conditie, het falen van de asset kon worden voorkomen (Moubray, 1997).

#### *Onderhoudsmethodiek RCM*

Met de methodiek Reliability Centred Maintenance (RCM) kan een keuze worden gemaakt voor het onderhoud aan een asset, met daarin het maken van de afweging tussen het hiervoor genoemde correctief, preventief of toestandsafhankelijk onderhoud. In dit onderzoek wordt dieper ingegaan op de methode RCM, omdat ASSET Rail de RCM-methodiek gebruikt voor het onderhoud aan het spoor en dit ook door bij de Zweedse (Trafikverket), Duitse (DB) en Spaanse (RENFE) Spoorwegen wordt toegepast (Horstink, Folkerts, persoonlijke communicatie; Carretero et al., 2003; Espling, 2007). De International Atomic Energy Agency [IAEA] (2007) definieert RCM als een proces voor de bepaling van het vereiste onderhoud voor fysieke assets in zijn operationele context. De strategie richt zich op het betrouwbaar houden van assets, door een weloverwogen keuze te maken van het soort onderhoud (Jardine, 2013).

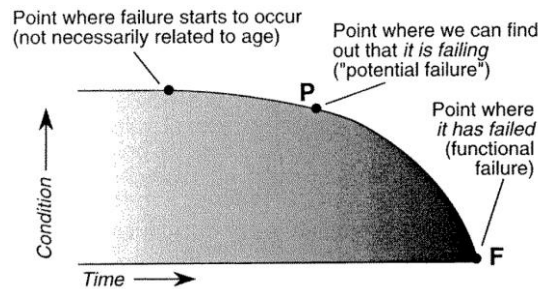
Binnen RCM wordt de afweging gemaakt tussen enerzijds correctieve en anderzijds proactieve acties voor het behouden van de functies van het object. Deze afweging wordt gemaakt op basis van de technische haalbaarheid en toegevoegde waarde van de proactieve actie (zie Afbeelding 12). Correctieve acties binnen RCM komen overeen met de reactieve houding dat ASSET Rail wil voorkomen in zijn liggingsonderhoud. Vonk (2006) noemt dit storingsafhankelijk onderhoud (SAO). Binnen de proactieve acties wordt een afweging gemaakt tussen geplande (cyclische) acties ongeacht de leeftijd of staat van de asset en acties op

basis van alleen de staat van de asset. Geplande (cyclische) acties worden gebruiksduurafhankelijk onderhoud (GAO) genoemd (Vonk, 2006). Deze strategie van liggingsonderhoud wil ASSET Rail ook voorkomen, omdat het gebruik van het spoor dan de bepalende factor is en niet de afwijking van de spoorligging. Indien het waardevol en technisch mogelijk is de functieafname van een asset te detecteren op basis van de staat van het object, dan is toestandsafhankelijk onderhoud (TAO) de beste keus (van Dongen; 2011; Jardine, 2013; Moubray, 1997; Vonk, 2006). Onderhoud wordt dan uitgevoerd wanneer de toestand van het object onvoldoende blijkt te zijn om zijn functie te vervullen. Moubray (1997, blz. 14) definieert dit als “(...) items are left in service *on the condition* that they continue to meet desired performance standards”. Toestandsafhankelijk onderhoud komt overeen met het doel van ASSET Rail om pas onderhoud uit te voeren wanneer de spoorligging zal gaan afwijken van de prestatienorm. Het is namelijk belangrijk de toestand te monitoren, wil men liggingsonderhoud kunnen voorspellen. Daarbij stelt Moubray dat de keuze voor toestandsafhankelijk onderhoud afhankelijk is van de technische haalbaarheid en financiële haalbaarheid. Indien de technische en financiële haalbaarheid onvoldoende zijn, dient men te overwegen correctief of cyclisch preventief onderhoud te plegen (Afbeelding 12).



Afbeelding 12 Trade-off onderhoudsstrategie met RCM (Jardine, 2013)

De technische haalbaarheid definieert Moubray (1997) op basis van de zogenaamde P-F-curve (zie Afbeelding 13). Door te bepalen wanneer een object zich bevindt in het eindstadium van falen (tussen potentieel falen P en functioneel falen F), kan tijdig onderhoud worden uitgevoerd, om te voorkomen dat het functioneel falen (F) optreed (Moubray, 1997; Zoeteman, 2004; Wireman, 2005). De toepassing van toestandsafhankelijk onderhoud is technisch haalbaar als (1) de potentiële faalconditie (P) bepaald kan worden; (2) het P-F interval consistent is (i.e. beheersbare variëteit van de trend); (3) het praktisch mogelijk is het object te monitoren met intervallen minder dan het kleinst mogelijke P-F interval; en (4) moet het P-F interval na het detecteren van P nog voldoende lang zijn voor het ondernemen van actie, ter voorkoming van F (i.e. netto P-F interval)



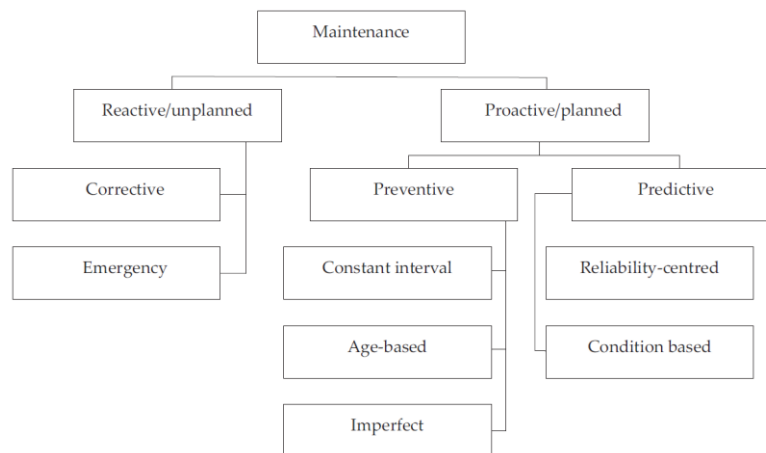
Afbeelding 13 P-F-curve voor het voorspellen van onderhoud

Naast de technische haalbaarheid stelt Moubray (1997) dat toestandsafhankelijk onderhoud ook rendabel moet zijn. Bij negatieve gevolgen voor de veiligheid of het milieu, is het alleen rendabel als vooraf voldoende wordt gewaarschuwd voor het falen, zodat de veiligheid en het milieu niet in gevaar komen. Is de veiligheid niet van belang, dan is het pas rendabel wanneer de kosten voor inspectie en het corrigeren van P over een bepaalde periode, kleiner zijn dan de kosten voor het corrigeren van het functioneel falen (F) en de gevolgkosten van dit functioneel falen (Moubray, 1997). Omdat de prestatienormen in de OHD00022 zijn gebaseerd op het voorkomen van onveilige situaties is toestandsafhankelijk onderhoud volgens Moubray rendabel ten opzichte van correctieve of preventieve (cyclische) onderhoudsacties.

### Predictief onderhoud

De RCM-methodiek is deels toepasbaar op het liggingsonderhoud van ASSET Rail, omdat deze alleen is gericht op het monitoren van de toestand. De term toestandsafhankelijk onderhoud zoals beschreven door Moubray (1997) betekent het uitvoeren van onderhoud *afhankelijk van de toestand*. Hierbij bepaalt de toestand van het object de keus voor het al dan niet uitvoeren van onderhoud (Dourlein, 2004). Daarbij kan de vraag worden gesteld: kijken we naar de toestand van het verleden, heden of de toekomst? In de RCM-methodiek stelt Moubray de term toestandsafhankelijk onderhoud synoniem voor predictief onderhoud. Veldman (2012) stelt dat toestandsafhankelijk onderhoud onderdeel is van predictief onderhoud, zoals te zien is in Afbeelding 14. In deze afbeelding is ook duidelijk het onderscheid te zien tussen reactief en proactief onderhoud dat overeenkomt met de RCM-methodiek (zie Afbeelding 12). Daaronder vallen vervolgens ook de termen correctief, preventief en predictief onderhoud. Toch wordt ook in deze semantiek gehanteerd dat toestandsafhankelijk onderhoud per definitie onderdeel is van predictief onderhoud. De IAEA (2007) definieert predictief onderhoud als een vorm van toestandsafhankelijk onderhoud voor het prognosticeren van de toekomstige toestand, dat resulteert in aanpassingen van de onderhoudsplanningen. Vichare and Pecht (zoals geciteerd in Palo, 2014) ondersteunen dit door te stellen dat vanuit de beslissingsondersteuning van onderhoud, toestandsafhankelijk onderhoud bestaat uit diagnose en prognose. De prognose kan hierbij op elk moment gedaan worden. Toestandsafhankelijk onderhoud is dus niet per definitie het voorspellen van onderhoud in de toekomst. Afhankelijk van de toestand (diagnose) leidt dit namelijk tot correctieve, preventieve óf predictieve onderhoudsacties. Bengtsson (2007) heeft toestandsafhankelijk onderhoud en predictief onderhoud afzonderlijk van elkaar gedefinieerd op basis van de Europese norm SS-EN 13306-2001, waarin hij toestandsafhankelijk onderhoud definieert als "Preventive maintenance based on performance and/or parameter monitoring and the subsequent actions." (Bengtsson, 2004, p.17). Bengtsson (2004, p.18) definieert predictief onderhoud als "Condition based maintenance carried out following a forecast derived from the analysis and evaluation of significant parameters of the degradation of the item." Ondanks dat deze twee termen zijn gedefinieerd worden deze niet consequent toegepast door Bengtsson. Gesprekken met deskundigen op het gebied van onderhoud (persoonlijke communicatie, Bengtsson; Van Dongen; Dollevoet) onderschrijven het wisselend gebruik van de termen toestandsafhankelijk- en predictief onderhoud in de wetenschappelijke literatuur.

Voor de eenduidigheid van dit onderzoek zijn de termen toestandsafhankelijk en predictief onderhoud hierna geoperationaliseerd. *Toestandsafhankelijk* onderhoud wordt uitgevoerd op basis van toestanden uit het verleden en heden om te corrigeren of juist proactief te handelen. *Predictief* onderhoud is het voorspellen van onderhoud aan een object, gebaseerd op toestanden van het heden en het verleden van dit object. Predictief onderhoud dekt hiermee ook onderhoudsstrategie en het uitgangspunt van ASSET Rail en ARCADIS. De analyse-methodiek Xeiz RG gebruikt data uit het verleden en heden om het liggingsonderhoud in de toekomst te voorspellen voor locaties, waarbij de parameters hoogte en schift van de spoorgeometrie niet volgens de norm presteren.

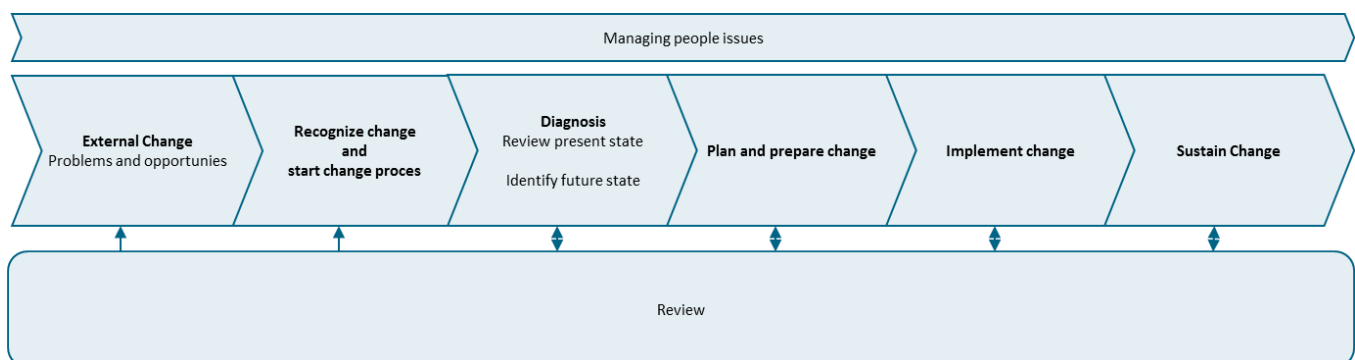


Afbeelding 14 De relatie tussen predictief onderhoud en toestandsafhankelijk onderhoud volgens Veldman (2012)

### 3.4 IMPLEMENTATIE IN ORGANISATIES

In de vorige paragrafen zijn de kenmerken van liggingsonderhoud en predictief onderhoud met als basis toestandsafhankelijk onderhoud beschreven. Daarbij werd vooral ingegaan op de technische kenmerken. Naast de techniek zijn ook de organisatie en medewerkers belangrijk voor het toepassen van predictief liggingsonderhoud.

De vele onderzoeken binnen verandermanagement en het implementeren van veranderingen in organisaties zijn door onderzoekers omgezet in modellen of veranderprogramma's met bijbehorende acties (Bengtsson, 2008). Hayes (2010) heeft het proces van verandering vastgelegd in een boek met hierin een verzameling van theorieën en kennis en hoe deze toe te passen in een organisatie. Het veranderproces in het algemeen heeft Hayes geïllustreerd met het generiek procesmodel voor verandering (zie Afbeelding 15). Het procesmodel bestaat allereerst uit het herkennen en starten van een (externe) verandering. Daarna dient gediagnosticeerd te worden wat het verschil is tussen de huidige en gewenste situatie. Dit moet leiden tot een ontwerp om het veranderproces in gang te zetten. Vervolgens dient de verandering geïmplementeerd te worden, waarna vergroting en gelijktijdig evaluatie van de implementatie plaatsvindt. Bengtsson (2008) concludeert dat de algemene kennis van verandermanagement en implementatie theorieën toepasbaar is voor het implementeren van toestandsafhankelijk onderhoud. De scope van dit onderzoek is gericht op de diagnose en het ontwerp van verandering, waardoor de stappen *diagnose* en *plan and prepare to change* van Hayes relevant zijn.

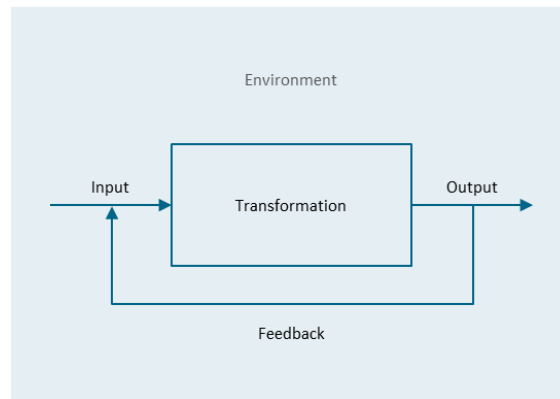


Afbeelding 15 Het generiek procesmodel voor veranderingen in organisaties (Hayes, 2010)

#### *Open systeem theorie*

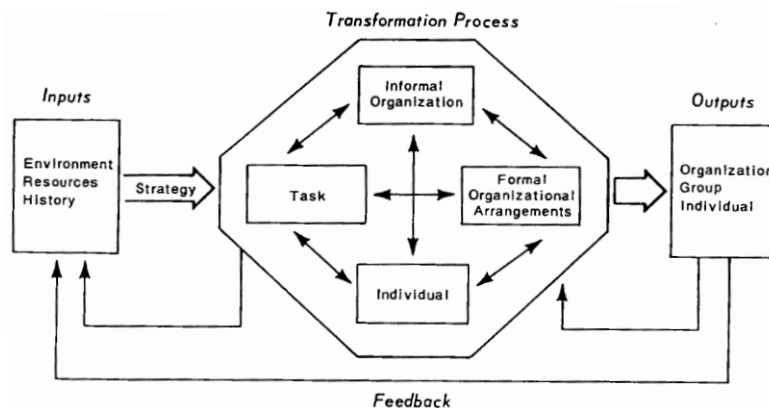
Binnen de diagnose stelt Hayes (2010) dat organisaties vanuit een open systeem gediagnosticeerd kunnen worden. De open systeemtheorie stelt dat organisaties afhankelijk zijn van de omgeving waarin zij opereren. Zij zijn in staat zichzelf binnen deze omgeving aan te passen en te vernieuwen om zo te kunnen blijven of zelfs beter te kunnen opereren in de omgeving. Dit hangt af van de mate waarin zij de gewenste input uit de omgeving kunnen transformeren in de gewenste output (Afbeelding 16). Daarbij is het wel van belang te reflecteren op de output in de vorm van feedback. Een ander kenmerk van de theorie is dat open systemen begrensd zijn doordat zowel op organisatie- als omgevingsniveau geselecteerd wordt op bijvoorbeeld informatie van buitenaf. De open systeemtheorie stelt dat veranderingen van elementen in de organisatie of de open omgeving leiden tot veranderingen in andere elementen (Hayes, 2010).





Afbeelding 16 De organisatie als een open systeem (wijziging van Hayes, 2010)

De veranderingen zijn het gevolg van willen bereiken van een balans tussen de organisatie en de omgeving, de zogenaamde congruentie (Nadler en Tushman, 1980). Dit wordt door Nadler en Tushman gevisualiseerd in het congruentiemodel (Afbeelding 17). De elementen bestaan in hoofdzaak uit input, de transformatie, de output en feedback tussen deze drie elementen. De input bestaat uit de omgeving, resources, historie en de strategie. De transformaties worden naast de input en output ook beïnvloed door taken, de leden in de organisatie, de formele organisatiestructuur en de informele organisatie. Meer consistentie tussen al de elementen leidt tot het effectiever functioneren van een organisatie.

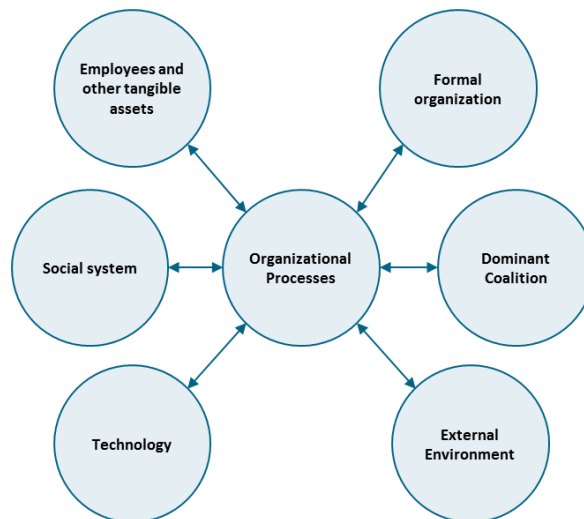


Afbeelding 17 Congruentie model voor de analyse van de organisatie (Nadler & Tushman, 1980)

Kotter (zoals geciteerd in Hayes, 2010) bekijkt deze congruentie vanuit de organisatie als centraal punt, waarin de omgeving een onderdeel is en alle elementen in balans moeten zijn (Afbeelding 18). Het model beschouwt ook de verandering voor de korte, middellange en lange termijn. In het perspectief van het liggingsonderhoud leidt bijvoorbeeld een toekomstige afwijking van de ligging (vanuit de externe omgeving) tot proactief handelen ASSET Rail. Dit handelen wordt echter beïnvloed door de snelheid van informatieverzameling en besluitvorming. Op de middellange termijn, (paar maanden tot paar jaar), zou ASSET Rail dit handelen kunnen volhouden, wanneer zij meerdere elementen van de organisatie kunnen aanpassen aan het predictief liggingsonderhoud. Op de lange termijn bepaalt de aanpassing en het integreren van de gehele organisatie in de omgeving, het succesvol toepassen van predictief liggingsonderhoud.

Op basis van de open systeemtheorie en het voorspellen van onderhoud met Xeiz RG is de verwachting dat het element technologie aanleiding is voor een verandering in de organisatie, doordat onderhoud afhankelijk is van de analyseresultaten van Xeiz RG. Vanuit de open systeemtheorie zou dit betekenen dat de technologie rekening moet houden met de omgeving waarin het wordt gebruikt en dat alle andere elementen binnen de organisatie zich moeten aanpassen voor verandering op de lange termijn.





Afbeelding 18 Integraalmodel Kotter (zoals geciteerd in Hayes, 2010)

### *Implementatie van toestandsafhankelijk onderhoud binnen een organisatie als open systeem*

In verschillende branches is onderzoek gedaan naar het toepassen van toestandsafhankelijk onderhoud in organisaties. Uit de bestudering van de literatuur van onder andere de IAEA (2007) en Bengtsson (2007) blijkt dat zowel de termen toestandsafhankelijk onderhoud als predictief onderhoud afwisselend worden gebruikt. Ondanks dat de term predictief onderhoud ook wordt gebruikt, focust de literatuur zich hierop de diagnose (toestand) van assets en niet op de prognose (voorspellen van de toestand). Toch is diagnose essentieel voor een betrouwbare prognose.

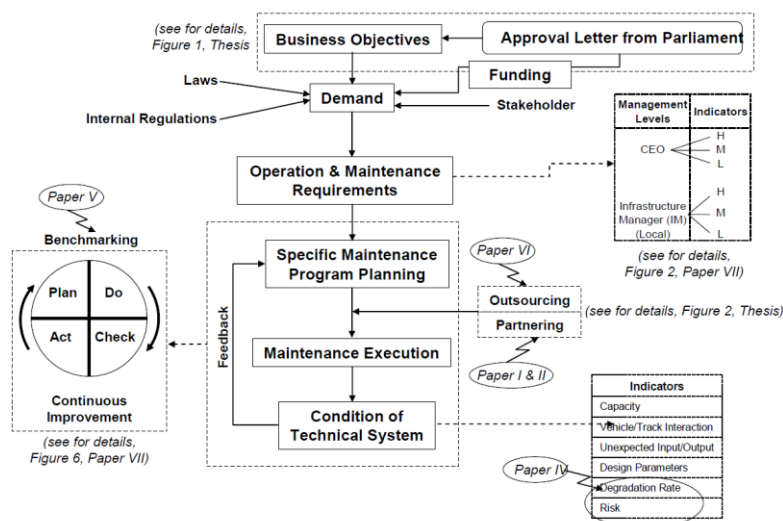
Uit onderzoek van de implementatie van toestandsafhankelijk onderhoud bij kerncentrales blijkt, dat niet de nieuwe technologie, nieuwe kennis en het gebruik hiervan het probleem is, maar het loslaten van oude beproefde routines. Dit vraagt om een verandering van de cultuur en structuur in een organisatie, van verantwoordelijkheden, van dagelijks onderhoud en het doorbreken van traditionele barrières in de nucleaire branche (IAEA, 2007). Waeyenbergh en Pintelon (2009) ondersteunen dit door te concluderen dat het toepassen van een nieuw onderhoudsconcept holistisch aanpakt moet worden, waarbij niet alleen de technische systemen, maar ook de relatie tussen verschillende systemen en de organisatiestructuur als geheel aangepakt moeten worden. Zij stellen dat de standaard onderhoudsconcepten uit de literatuur onvoldoende bijdragen tot het bereiken van een onderhoudsstrategie. Een combinatie van concepten moet leiden tot een op maat gemaakt, maar flexibele onderhoudsstrategie voor de organisatie in kwestie.

In de maritieme branche heeft de introductie van toestandsafhankelijk onderhoud voor moeilijkheden gezorgd, doordat de gebruikte technologie wordt toegepast zonder de nodige veranderingen in de organisatie op schepen door te voeren. Dit werd duidelijk doordat bij de wisseling van de bemanning, de opgedane kennis van toestandsafhankelijk onderhoud niet werd doorgegeven naar de volgende ploeg (Sundberg, 2003). Volgens Bengtsson (2008) is de implementatie van een nieuwe technologie in een organisatie complex, omdat een organisatie een open systeem is dat van buitenaf wordt beïnvloed. Zelfs de technologie van toestandsafhankelijk onderhoud moet worden gezien als een open systeem vanwege de menselijke invloeden op de technologische systemen.

Ook de spoorbranche lijkt benaderbaar te zijn als open systeem waarin verschillende organisaties invloed op elkaar hebben. Espling (2007) heeft onderzoek gedaan bij de Zweedse spoorwegen en stelt dat deze spoorbranche opereert in een hoog gereguleerde en politieke omgeving met interne en externe stakeholders die ieder hun eigen eisen hebben. Tezamen met de moeilijkheid van het vinden van een juiste balans tussen correctief en toestandsafhankelijk onderhoud, zorgt dit voor een complex management van

het spooronderhoud. Hierdoor blijft de cultuur in de Zweedse spoorbranche gericht op het oplossen van dagelijkse problemen zonder de tijd te krijgen voor het reflecteren van reactieve acties. Het managen van deze complexiteiten vraagt om een verandering van een reactieve naar een proactieve houding (Zoeteman, zoals geciteerd in Espling, 2007). De Zweedse spoorbranche lijkt in een zeker opzicht op de Nederlandse spoorbranche doordat beide landen het spooronderhoud uitbesteden aan spooraanneemers (Automain, 2014; Palo, 2014).

Espling (2007) heeft in zijn dissertatie de complexe omgeving van de Zweedse spoorbranche geschematiseerd in Afbeelding 19. Deze complexe omgeving bestaat uit verschillende fases zoals doelstellingen en voorschriften van de spoorbeheerder die invloed hebben op de onderhoudsstrategie, de uitvoering van het onderhoud en de mate van continue verbetering. Al deze fases kunnen volgens Espling beïnvloed worden door een proactieve benadering op strategisch niveau in de vorm van doelstellingen. Op tactisch niveau wordt dit beïnvloed door meting, uitvoering en feedback dat uiteindelijk moet leiden tot continue verbetering volgens de cirkel van Deming. Ondanks dat de scope van het onderzoek zich beperkt tot het niveau van de uitvoerende partij, het operationeel niveau van het spooronderhoud, blijkt uit Afbeelding 19 wel dat de spoorbranche invloed heeft op het spooronderhoud dat door PCA's wordt uitgevoerd.

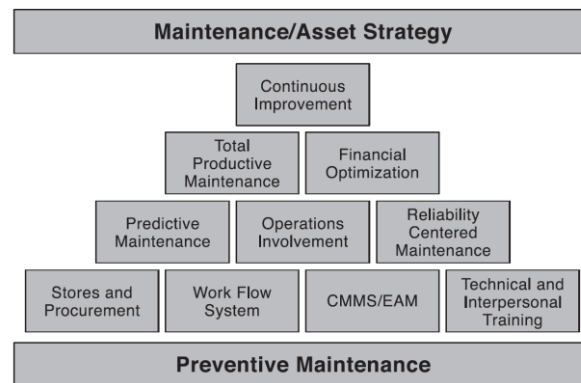


Afbeelding 19 Conceptueel raamwerk voor de onderhoudsstrategie in de Zweedse spoorbranche (Espling, 2007)

Uit een eerste bestudering van toestandsafhankelijk onderhoud in verschillende branches (bijv. kerncentrales, productie-industrie) wordt verwacht dat het implementeren van predictief onderhoud complex is. Ten eerste lijkt de kennis en het gebruik van een nieuwe technologie in een organisatie onvoldoende voor een succesvolle implementatie van predictief onderhoud. Deze technologie omvat het gebruik van conditie monitoring en beslissingsondersteunende modellen/systemen om de toestand van een object over de tijd te diagnosticeren en te prognosticeren. Ten tweede wordt verwacht dat predictief onderhoud vraagt om een proactieve benadering, in tegenstelling tot de reactieve benadering van correctief onderhoud. Dit is volgens de literatuur te bereiken door een verandering van de cultuur en structuur van de onderhoudsorganisatie, een holistische aanpak van de organisatie met als uiteindelijk resultaat een continue verbetering van het onderhoud. Ten derde wordt verwacht dat het krijgen van de bovenstaande proactieve benadering negatief wordt beïnvloed, doordat de onderhoudsorganisatie deel uitmaakt van een dynamische open omgeving met invloed van andere partijen in de spoorbranche, politiek en regelgeving.

### *De invloed van factoren op de implementatie van predictief onderhoud in organisaties*

Literatuur binnen de context van onderhoudsorganisaties omvat onder andere Bengtsson (2007), IAEA (2007) en Wireman (2005). Wireman stelt dat de onderhoudsorganisatie eerst ervaring moet hebben met preventief onderhoud (zie Afbeelding 20) voordat de organisatie succesvol predictief onderhoud kan toepassen. Vervolgens is aanpassing van de organisatie en systemen hierin nodig alvorens predictief onderhoud en toepassing van de RCM-methodiek mogelijk is. Predictief onderhoud is echter volgens Wireman niet het eindpunt, maar moet continue verbetering van de organisatie en het onderhoud het einddoel zijn.



Afbeelding 20 Onderhoudsstrategie piramide (Wireman, 2005)

De IAEA (2007) stelt dat de verbetering van toestandsafhankelijk onderhoud alle aspecten van de organisatie beïnvloedt. De verbetering van het onderhoudsproces beslaat vier elementen:

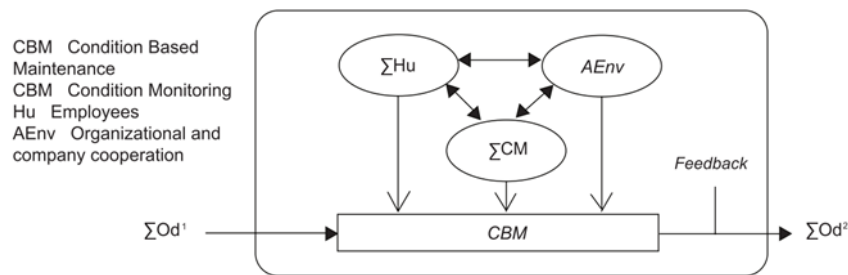
1. Een **Management en bedrijfscultuur** dat een zelflerende organisatie creëert;
2. Een **Onderhoudsproces** dat zorgt een minimale impact op de beschikbaarheid door het gericht plannen van onderhoud en leren van het uitgevoerde onderhoud;
3. **Vaardigheden en de Werkcultuur** door gemotiveerd, gekwalificeerd en veiligheidsbewuste medewerkers, bevordert door trainingen;
4. Een **Technologie** die in hoofdzaak bestaat uit conditie monitoring en de ondersteunende software, welke kosteneffectief is, tijdige informatie levert over de toestanden van het object en van zichzelf leert.

De verbetering van het onderhoudsproces heeft de IAEA vertaald in het zelf-beoordelingsprogramma om toestandsafhankelijk onderhoud aan kerncentrales te verbeteren. Voor het implementeren van toestandsafhankelijk liggingsonderhoud moet aandacht geschonken worden aan veertien categorieën (zie Tabel 1). Een omschrijving van deze aandachtsgebieden is te vinden in Bijlage 7

Tabel 1 Aandachtsgebieden voor het implementeren van toestandsafhankelijk onderhoud bij kerncentrales (IAEA, 2007). Zie Bijlage 7 voor een omschrijving van de aandachtsgebieden

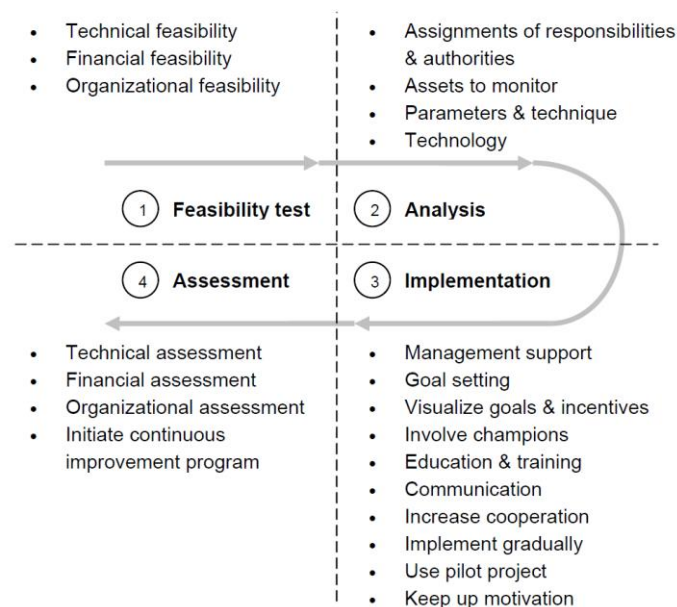
|   |                                                    |    |                                        |
|---|----------------------------------------------------|----|----------------------------------------|
| 1 | Preventive Task Technical Basis                    | 8  | Training and Qualifications            |
| 2 | Technology Application                             | 9  | CBM Work Prioritization and Scheduling |
| 3 | Process Flow Definition                            | 10 | Work Closeout and Maintenance Feedback |
| 4 | Programme Leadership and Coordination              | 11 | Goals and Performance Metrics          |
| 5 | Organization, Roles and Responsibilities           | 12 | Calculation of Cost-Benefits and ROI   |
| 6 | Information Management and Communication           | 13 | Customer Satisfaction                  |
| 7 | Equipment Condition Assessment and Decision Making | 14 | Continuous Improvement                 |

Naast de factoren die genoemd worden door de IAEA is door Bengtsson (2007) onderzoek gedaan naar de implementatie van toestandsafhankelijk onderhoud en de factoren die hierop een invloed hebben. Ook hij benadert de implementatie vanuit de open systeemtheorie met een transformatiemodel (zie Afbeelding 21). Volgens dit model worden afwijkingen in de toestand van objecten ( $\Sigma Od^1$ ) getransformeerd naar een gewenste toestand ( $\Sigma Od^2$ ) door toestandsafhankelijk onderhoud. Deze transformatie wordt beïnvloed door de mensen die betrokken zijn bij het onderhoudsproces, de technologie voor conditie monitoring en de organisatie die de middelen en ondersteuning geeft. Wanneer de technologieën, de mensen in het onderhoudsproces en de organisatie niet op elkaar zijn afgestemd is de uiteindelijke output ( $\Sigma Od^2$ ) van het onderhoud niet te voorspellen.



Afbeelding 21 Het transformatiemodel waarin technologie ( $\Sigma CM$ ), mensen ( $\Sigma Hu$ ) en de organisatie ( $AEnv$ ) in relatie tot elkaar invloed hebben op het proces van toestandsafhankelijk onderhoud (CBM) (Bengtsson, 2007).

Op basis van het transformatiemodel heeft Bengtsson (2007) een implementatiemethode voor toestandsafhankelijk onderhoud ontwikkeld, dat bestaat uit vier fases zoals te zien in Afbeelding 22. Bengtsson stelt dat de *enabling factors* in deze fases moeten leiden tot de implementatie van toestandsafhankelijk onderhoud.

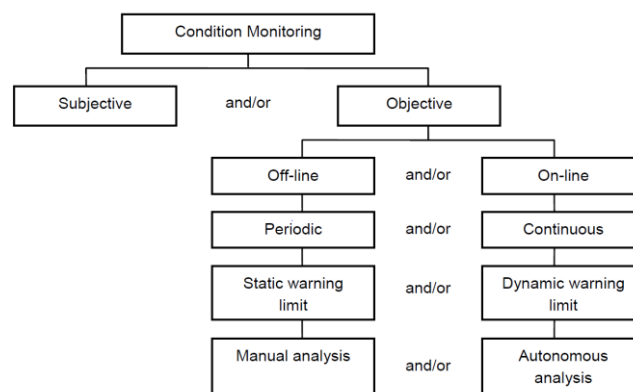


Afbeelding 22 Implementatiemethode bestaande uit vier fases: een haalbaarheidsstudie, de analyse van toestandsafhankelijk onderhoud, de implementatie hiervan en de beoordeling van de implementatie. Het resultaat van elke fase wordt beïnvloed door de bijbehorende factoren (Bengtsson, 2007)

Voor de haalbaarheid (fase 1) stelt Bengtsson dat de organisatie ten minste de technische kennis moet hebben van onder andere monitoring van de asset en de mogelijkheid tot het creëren en gebruik van de P-

F curve, zodat de stap van implementatie niet te groot wordt. Deze zogenaamde technische *maturity* (i.e. de mate van ervaring als organisatie in het onderhoud) wordt ondersteund door Wireman (2005) met de onderhoudspiramide. Indien de organisatie vooral een reactieve onderhoudsmentaliteit heeft, wordt het lastig een proactieve strategie als predictief onderhoud te implementeren. Naast de technische haalbaarheid is de toetsing van de financiële haalbaarheid door middel van een kosten-batenanalyse belangrijk om vast te stellen of het financiële rendement voldoende is. In lijn met Esveld (2001) heeft de combinatie tussen de organisatie, de mensen, financiën en de technische mogelijkheden dus invloed op het kunnen toepassen van predictief onderhoud.

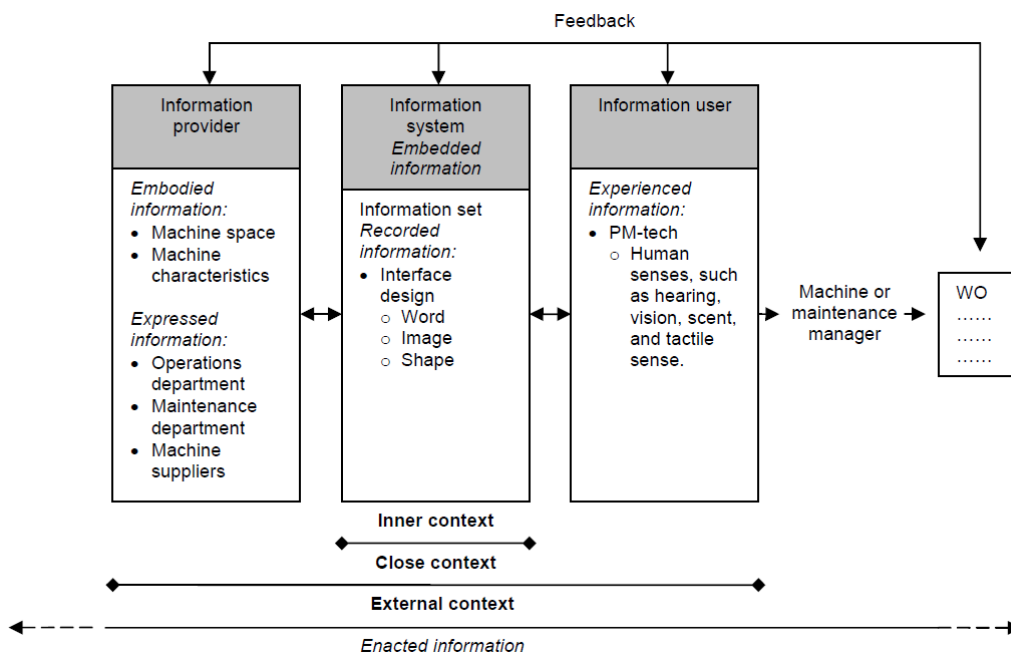
De tweede hoofdfase richt zich onder andere op de analyse van verantwoordelijkheden van medewerkers, de te monitoren parameters van het object en met welke technologie de conditie gemonitord moet worden. De IAEA (2007) definieert conditie monitoring als continue of periodieke metingen waarmee een trend van de prestatie of fysische veranderingen duidelijk wordt, zodat de huidige of toekomstige prestatie en de kans op falen wordt vastgesteld. Voor monitoring bestaan de mogelijkheden uit subjectieve en objectieve monitoring (Afbeelding 23). Binnen objectieve monitoring wordt onderscheid gemaakt tussen on-line/off-line, mate van tijdsinterval, de soort controlelimiet en manier van analyseren. Continue monitoring komt in aanmerking voor kritieke objecten waarbij falen van het object grote consequenties heeft voor de veiligheid of kosten (Sundberg, 2003). De spoorligging hoeft niet continue gemonitord te worden omdat de prestatienormen in de OHD00022 zijn gesteld met een significante veiligheidsmarge, zodat overschrijding van de norm niet direct leidt tot gevaar voor de veiligheid (Dourlein, persoonlijke communicatie; Esveld, 2001). In het onderzoek van de UIC (2010) is geconcludeerd dat 80% van de respondenten in de spoorbranche gebruik maakt van conditie monitoring voor het objectief monitoren van parameters van de spoorgeometrie. Uit dit onderzoek blijkt ook dat bijna geen enkel monitoringsysteem door meerdere partijen wordt gebruikt. Voor het monitoren ter instandhouding van de spoorgeometrie in Nederland wordt tot op heden alleen gebruik gemaakt van de UFM 120.



Afbeelding 23 Soorten en combinaties van conditie monitoring (Bengtsson, 2008)

Subjectieve monitoring wordt in de vorm van visuele inspecties of schouw uitgevoerd, met daarbij de menselijke zintuigen als essentieel onderdeel voor het monitoren. Bij subjectieve monitoring is het van belang te weten wie dit gaat doen en hoe vaak, is het belangrijk de wijze van rapporteren en naar wie te bepalen en moet duidelijk zijn hoe de trend wordt bepaald. Deze aandachtspunten worden ook door de IAEA genoemd, al richt de IAEA zich niet op subjectieve monitoring. Subjectief monitoren is volgens Bengtsson (2007) rendabel als de operators van machines eerder het falen zien, dan een duur objectief monitoringsysteem. Bengtsson stelt dat elke keuze van subjectieve en/of objectieve monitoring verschilt in kosten en vraagt om verschillende kennis en training van technici die de monitoring doen. Het voorgenoemde objectieve conditie monitoren is zogenaamde *embedded* informatie dat uit het te monitoren

object kan worden gehaald (Afbeelding 24). Niet alleen de fysieke kenmerken van een object zijn echter belangrijk voor het beoordelen van de toestand van het object. Zoals Afbeelding 24 laat zien, hebben de menselijke zintuigen zoals horen of zien, ervaringen van monteurs en communicatie vanuit gebruikers en leveranciers ook een invloed op het bepalen van de benodigde onderhoudsacties. Dus naast de objectieve of subjectieve monitoring van parameters is verbale communicatie vanuit de afdelingen en ervaring van operators en onderhoudsmedewerkers essentiële input voor de besluitvorming van onderhoudsacties (Bengtsson, 2007).



Afbeelding 24 Soorten informatie uit verschillende contexten voor de beoordeling van de objecttoestand (Bengtsson, 2007)

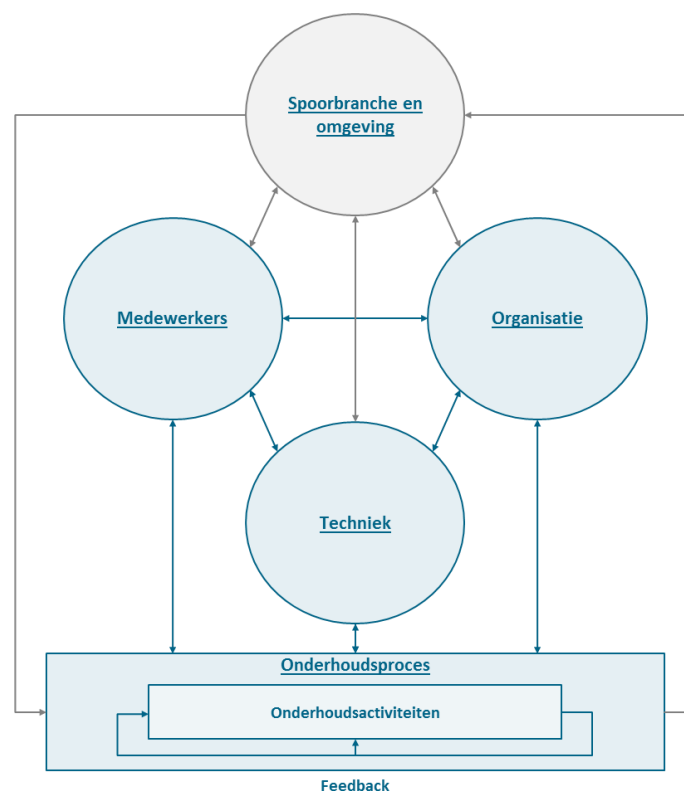
Het implementeren van toestandsafhankelijk onderhoud wordt positief beïnvloed door tien sleutel factoren, zoals te zien is in Afbeelding 22. In aanvulling op de IAEA (2007) stelt Bengtsson (2007) dat het management financiële en niet-financiële steun moet geven in de vorm van een visie naar medewerkers. De doelstellingen dienen voor de korte en lange termijn duidelijk te zijn voor medewerkers in alle onderhoudsactiviteiten en lagen van de organisatie. De korte termijn doelstellingen moeten leiden tot snelle successen, zodat dit sneller leidt tot de gewenste houding van medewerkers. Verder is betrokkenheid van champions nodig om de implementatie te ondersteunen (ook bij enige tegenwerking), contact te houden met medewerkers in verschillende lagen van de organisatie en motiveren zij de betrokken medewerkers.

Tijdens en na de implementatie moet het toestandsafhankelijk onderhoud geëvalueerd en het continue verbeterd worden, zoals ook door de IAEA (2007) wordt gesteld. Hierbij moet aandacht worden geschonken aan de verwachtingen van medewerkers, het behalen van de doelstellingen en de haalbaarheid betreffende de gebruikte technieken en resultaten. Daarnaast moet men op de hoogte blijven van nieuwe technologieën en tools voor conditie monitoring en data-analyse ter verbetering van het predictief onderhoud.

### 3.5 CONCEPTUEEL RAAMWERK

De ontwikkeling van het raamwerk met het bijbehorende onderzoeksperspectief beantwoordt de vraag wat verwacht wordt nodig te zijn om predictief liggingsonderhoud te implementeren bij ASSET Rail. Voor de beantwoording van deze vraag zijn de kennisvelden van liggingsonderhoud, onderhoudsstrategieën en verandermanagement bestudeerd. Uit de bestudeerde kennis zijn de factoren gesynthetiseerd die verwacht worden invloed te hebben op het predictief liggingsonderhoud van ASSET Rail.

Bengtsson (2007) stelt dat de techniek, de organisatie en de mens invloed hebben op het proces. Maar het onderhoudsproces zelf, met de onderlinge activiteiten, bepaalt ook het succes van predictief liggingsonderhoud. Ondanks dat de scope van het onderzoek gericht is op de organisatie, heeft het onderhoudsproces en de organisatie, raakvlakken met de branche. De interactie van de vier categorieën met het raakvlak naar de branche, is weergegeven in Afbeelding 25. De factoren die verwacht worden invloed te hebben op de techniek, organisatie, medewerkers en het onderhoudsproces zijn in Tabel 2 beschreven. De factoren vanuit de branche zijn apart in Tabel 3 opgesomd, maar worden verder niet empirisch onderzocht op brancheniveau, omdat het onderzoek is afgebakend op ASSET Rail en ARCADIS. De categorieën Onderhoudsproces, Medewerkers en Organisatie vormen de vier thema's als onderzoeksperspectief voor het empirisch onderzoek binnen team Xeiz RG van ARCADIS en ASSET Rail.



Afbeelding 25 Conceptueel raamwerk van predictief liggingsonderhoud, met de verwachting dat de interactie tussen de organisatie van ASSET Rail (Organisatie), de techniek (Techniek), en de medewerkers (Medewerkers), invloed heeft op het predictief onderhoudsproces met bijhorende activiteiten (Onderhoudsproces). Feedback binnen het predictief onderhoudsproces verifieert en valideert de werking van het proces. De organisatie en het onderhoudsproces worden daarnaast beïnvloed door de spoorbranche met daarin de degradatie en monitoring van de spoorinfrastructuur (Spoorbranche en omgeving)



Tabel 2 Factoren binnen ASSET Rail waarvan verwacht wordt dat deze invloed hebben op de implementatie van predictief liggingsonderhoud bij ASSET Rail

| Organisatie                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Management support                              | Verwacht wordt dat het management een visie uitdraagt naar medewerkers, maar dit ook financiële ondersteuning geeft om predictief liggingsonderhoud te gaan en kunnen toepassen (Bengtsson, 2007; Kotter, zoals geciteerd in Hayes, 2010). Dit heeft relatie met de factoren binnen de categorie medewerkers, doordat het voor hen als een prikkel fungeert.                                                                                                                                              |
| Korte- en lange termijn doelstellingen          | Verwacht wordt dat korte termijn doelstellingen bijdragen aan de succeservaringen van medewerkers met predictief liggingsonderhoud, maar ook bijdragen aan hun functiebewustzijn en verantwoordelijkheid. Verwacht wordt dat lange termijn doelstellingen leiden tot continue verbetering van predictief liggingsonderhoud (Bengtsson, 2007; IAEA, 2007). Dit heeft relatie met de factor management support omdat zij bijdragen aan het formuleren, uitdragen en bereiken van deze doelstellingen.       |
| Maturity                                        | Verwacht wordt dat de organisatie ervaring en kennis nodig heeft van verschillende technische elementen, zoals de RCM-methodiek en beslissingsondersteunende modellen, en niet-technische elementen zoals een proactieve houding. Zonder deze basis is geen predictief liggingsonderhoud mogelijk (Bengtsson, 2007; Wireman, 2005).                                                                                                                                                                       |
| Continue verbetering                            | Verwacht wordt dat de organisatie mogelijkheden moeten bieden voor continue verbetering en kennisvergroting van het liggingsonderhoud, zodat voorspellingen gericht het benodigde liggingsonderhoud bepalen (Bengtsson, 2007; IAEA, 2007; Wireman, 2005). Dit heeft relatie met training van medewerkers, uitvoering van close-out en feedback activiteiten, korte en lange termijn doelstellingen, kennis hebben van klantverwachtingen en –tevredenheid. Het management moet deze mogelijkheden bieden. |
| Medewerkers                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Routines                                        | Verwacht wordt dat de gewenning van cyclische onderhoudsacties of ander soorten strategieën en oude, maar beproefde routines een negatieve invloed hebben op de toepassing van predictief liggingsonderhoud (IAEA, 2007). Dit heeft relatie met het onderhoudsproces, omdat het proces van predictief liggingsonderhoud anders is ingericht dan bijvoorbeeld correctief of preventief liggingsonderhoud.                                                                                                  |
| Houding en mentaliteit                          | Verwacht wordt dat medewerkers een proactieve houding nodig hebben, maar reactief reageren door een te sterke negatieve invloed van de spoorbranche en het liggingsonderhoud in het verleden op basis van OPC-contracten (Zoeteman, zoals geciteerd door Espling, 2007).                                                                                                                                                                                                                                  |
| Champions                                       | Verwacht wordt dat de aanwezigheid van champions (i.e. medewerkers die het toepassen van predictief liggingsonderhoud promoten en communiceren tussen verschillende lagen van de organisatie) bijdragen aan de toepassing van predictief liggingsonderhoud (Bengtsson, 2007). Dit heeft relatie met onder andere het management support communicatie tussen de medewerkers binnen de onderhoudsactiviteiten.                                                                                              |
| Verantwoordelijkheidsgevoel & Functiebewustzijn | Verwacht wordt dat predictief liggingsonderhoud vraagt om verantwoordelijkheidsgevoel van medewerkers voor de activiteiten waarin ze betrokken zijn en de aansprakelijkheid die ze hebben. Daarnaast wordt verwacht dat medewerkers bewust moeten zijn van de functie die zij hebben binnen hun onderhoudsactiviteit en het gehele proces (Bengtsson, 2007; IAEA, 2007; Wireman,                                                                                                                          |



|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                      | 2005). Dit heeft relatie met de factoren continue verbetering en feedback door medewerkers naar voorgaande activiteiten in het proces.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Training en scholing                                 | Verwacht wordt dat training van medewerkers om hun functies uit te oefenen bijdraagt aan de verbetering van de onderhoudsactiviteit en samenwerking tussen medewerkers in andere activiteiten van het proces (Bengtsson, 2007; IAEA, 2007; Wireman, 2005). Dit heeft ook relatie met het kunnen analyseren van data, het kunnen voorspellen van de normoverschrijding en het leveren en gebruiken van feedback door medewerkers.                                                                                                           |
| Continue verbetering door leergierigheid en Feedback | Verwacht wordt dat medewerkers niet snel tevreden zijn met het huidige proces, verbetering willen en willen leren van de activiteit waarbij ze zijn betrokken. Tevens wordt verwacht dat medewerkers in een activiteit zich af moeten vragen hoe zij beter kunnen bijdragen aan de activiteit en andere activiteiten in het onderhoudsproces (Bengtsson, 2007; Espling, 2007, IAEA, 2007, Wireman, 2005). Dit heeft onder andere relatie met feedback in het onderhoudsproces.                                                             |
| <b>Techniek</b>                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Voorspellend vermogen                                | Verwacht wordt dat met de parameterwaarden van de hoogte en schift uit het verleden en het heden de toekomstige trend en daarmee het snijpunt met de prestatienorm kan worden vastgesteld. Want zonder deze data is het niet mogelijk gericht liggingsonderhoud uit te voeren. Dit heeft relatie met de overige factoren binnen de categorie techniek, maar ook met de activiteit analyse in het onderhoudsproces.                                                                                                                         |
| Onderhoudsmanagement systemen                        | Verwacht wordt dat onderhoudsmanagementsystemen nodig zijn om liggingsonderhoud in te plannen en uitgevoerd werk te registreren (Esveld, 2001). Dit heeft relatie met het onderhoudsproces.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Database                                             | Verwacht wordt dat in een database historische data worden bewaard voor trendanalyses in de toekomst, in de vorm van kwantitatieve data, schriftelijke documentatie van de toestanden en trendanalyses en subjectieve data (IAEA, 2007). Dit heeft relatie met het onderhoudsproces doordat gegevens uit de database input zijn voor de analyse-activiteit.                                                                                                                                                                                |
| Parameter                                            | Verwacht wordt dat de parameters hoogte en de schift relevant zijn voor predictief liggingsonderhoud, waarbij voor elk van deze parameter een P-F curve gemaakt kan worden. Dit heeft onder andere relatie met de beslissingsondersteunende modellen, omdat hiermee de waarden van de parameters worden geanalyseerd.                                                                                                                                                                                                                      |
| P-F curve                                            | Verwacht wordt dat standaard degradatiecurven onvoldoende zijn, omdat elke locatie in de spoorinfrastructuur een andere patroon en snelheid van degradatie heeft, waardoor een P-F curve benodigd is voor het voorspellen van de normoverschrijding. P is de overgang van de lineaire naar de exponentiele degradatiefase van de parameters. De lineaire fase is voldoende consistent om voorspellingen te kunnen doen. Het netto-P-F interval is ten minste zo groot als de tijd tussen monitoring en de onderhoudsactie (Moubray, 1997). |
| Prestatienormen                                      | Verwacht wordt dat de prestatienormen voor de parameters hoogte en schift, zoals vastgesteld in de OHD00022, voor de beslissingsondersteunende modellen worden gebruikt om het tijdstip F te voorspellen voor de locaties in de spoorinfrastructuur.                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| RCM-methodiek                                        | Verwacht wordt dat de keuze voor predictief liggingsonderhoud afhankelijk is van de technische haalbaarheid en deze kosten-effectiever is dan cyclisch preventief of correctief liggingsonderhoud, zoals is beschreven in de RCM-methodiek (Moubray, 1997).                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Beslissingsondersteunende                            | Verwacht wordt dat beslissingsondersteunende modellen met een vast tijdsinterval                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

|                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| modellen                                        | de historische en recente data analyseren, met daaruit voortkomend een P-F-curve met een toekomstige trendlijn tot functioneel falen voor elke locatie (Esveld, 2001; Dourlein, 2004; Moubray, 1997; Zoeteman, 2004). Dit heeft relatie met het onderhoudsproces waarin deze modellen worden gebruikt in de activiteit analyse. Daarnaast wordt verwacht dat training en onderwijs nodig is om met deze modellen te kunnen werken.                                                 |
| <b>Onderhoudsproces</b>                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Samenwerking en communicatie                    | Verwacht wordt dat onderlinge samenwerking en communicatie tussen medewerkers in hun eigen activiteiten, maar ook de andere activiteiten een positieve invloed heeft op predictief liggingsonderhoud, waardoor aansluiting ontstaat tussen opeenvolgende activiteiten, maar ook continue verbetering van het gehele proces van predictief liggingsonderhoud (Bengtsson, 2007; IAEA, 2007; Wireman, 2005).                                                                          |
| <b>Onderhoudsactiviteiten</b>                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Data                                            | Verwacht wordt dat naast objectieve data van de UFM 120, subjectieve monitoring door zintuigen, kennis en ervaringen van onderhoudsmonteurs een positieve invloed heeft op predictief liggingsonderhoud (Bengtsson, 2007). Tevens wordt verwacht dat feedback als data uit andere onderhoudsactiviteiten ook een positieve invloed heeft. Dit heeft ook relatie met de branche, omdat hier de data van worden verkregen.                                                           |
| Analyse                                         | Verwacht wordt dat de recente en historische data worden geanalyseerd door beslissingsondersteunende modellen, waarmee de P-F curve wordt bepaald en toekomstige degradatie van de parameters voorspeld. Naast data van de parameters zijn ook data van kosten, planningen en uitgevoerd werk nodig om het onderhoud in relatie tot het voorspelde tijdstip van overschrijding te plannen (Dourlein, 2004; Esveld, 2001).                                                          |
| Uitvoering                                      | Verwacht wordt dat stop-schiftmachines gepland het liggingsonderhoud uitvoeren om de afwijkingen van de hoogte en schift te herstellen, op basis van het onderhoudsplan dat is voortgekomen uit de analyse.                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Feedback                                        | Verwacht wordt dat tijdens de onderhoudsactiviteit <i>uitvoering</i> de as-found toestand en het resultaat na uitvoering gedocumenteerd en gecommuniceerd worden naar de medewerkers in voorafgaande activiteiten van het onderhoudsproces (IAEA, 2007). Dit is nodig om het resultaat van de voorspelling te beoordelen en tevens het proces van predictief liggingsonderhoud te verbeteren.                                                                                      |
| <b>Resultaten</b>                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Key Performance Indicators                      | Verwacht wordt dat Key Performance Indicators de prestatie van predictief liggingsonderhoud meten (IAEA, 2007). Onvoldoende prestatie moet leiden tot ingrijpen van het management en eventueel aanpassing van de doelstellingen.                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Financieel rendement door Kosten-baten analyses | Verwacht wordt dat het voorkomen van prestatienormoverschrijding door toepassing van predictief onderhoud kosten-effectiever is dan preventief cyclisch of correctief liggingsonderhoud en dat dit aantoonbaar is. Daarbij wordt ook verwacht dat kosten-batenanalyses het financiële rendement en de balans tussen correctief, preventief en predictief liggingsonderhoud vaststellen om de keuze voor predictief liggingsonderhoud te onderbouwen (Bengtsson, 2007; IAEA, 2007). |
| Return on Investment                            | Verwacht wordt dat de jaarlijkse calculatie van de Return on Investment het financieel rendement van predictief liggingsonderhoud toetst, maar ook bijdraagt aan het motiveren van medewerkers (IAEA, 2007).                                                                                                                                                                                                                                                                       |

Tabel 3 Factoren uit de branche waarvan verwacht wordt dat deze invloed hebben op het predictief liggingsonderhoud van ASSET Rail

| Branche                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Klantverwachtingen        | Verwacht wordt dat de opdrachtgever ProRail afwijkingen in de spoorgeometrie toetst en overschrijdingen van de normen van de spoorgeometrie beboet.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Klanttevredenheid         | Verwacht wordt dat de tevredenheid van ProRail afhankelijk is van de balans tussen beschikbaarheid en onderhoud.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Ongeplande gebeurtenissen | Dagelijkse ongeplande gebeurtenissen leiden tot reactief handelen van de onderhoudsorganisatie, waardoor predictief liggingsonderhoud niet volledig kan worden toegepast (Espling, 2007).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Monitoring UFM 120        | Verwacht wordt dat het huidige monitoringsinterval van de spoorgeometrie elk voor-en najaar, voor elke 25 cm spoor wordt, uitgevoerd door de UFM 120 (Westgeest, Dekker & Fisher, 2012). Daarbij wordt met vaste intervallen gemonitord voor consistente data-analyse over de jaren heen. Hierbij wordt de spoorgeometrie objectief gemonitord met als resultaat kwantitatieve data (Moubray, 1997). Volgens Moubray is het interval afhankelijk van het netto P-F interval. Verwacht wordt dat de frequentie van monitoring afhankelijk is van de locatie., omdat bijvoorbeeld een locatie met snellere of inconsistente degradatie vaker gemonitord moet worden ter voorkoming van onverwacht functioneel falen. |

## 4

## Predictief liggingsonderhoud binnen ARCADIS en ASSET Rail

### 4.1 HUIDIG PROCES VAN PREDICTIEF LIGGINGSONDERHOUD

Het ontwikkelde conceptueel raamwerk uit hoofdstuk 3 is gebruikt als perspectief voor het empirisch onderzoek ter vaststelling van het huidige proces van liggingsonderhoud binnen ARCADIS en ASSET Rail. Het huidige proces van predictief liggingsonderhoud is in hoofdlijnen schematisch weergegeven in Afbeelding 26. In Bijlage 6.1 is het huidige proces in detail weergegeven. De activiteiten van ARCADIS zijn blauw omlijnd en van ASSET Rail groen omlijnd. De methodiek voor de totstandkoming van het huidige proces is beschreven in paragraaf 2.3.3.

#### 4.1.1 HUIDIGE PROCESACTIVITEITEN

Voor zowel ARCADIS als ASSET Rail beginnen de processen met de contracteisen van ProRail waarin de onder andere de voorgeschreven prestatienormen volgens de OHD0022 staan beschreven voor de veiligheids- en bodemwaarden van de parameters. Naast deze prestatienormen van het betreffende contractgebied is voor team Xeiz RG de *recente en historische meetdata van de UFM 120* en beschikbare data van ASSET Rail nodig. Deze data van ASSET Rail bestaat uit een *lijst met afgesloten werkorders* met betrekking tot het liggingsonderhoud. Deze drie bronnen worden door middel van een inputverificatie gecontroleerd op bruikbaarheid alvorens deze als input voor de analyse kunnen dienen. Na *analyse* worden de resultaten geverifieerd en worden de onderhoudslocaties en de kans op overschrijding van de parameters visueel op kilometering weergegeven voor de toekomstige jaren in de zogenaamde clusteringtool. Overleg tussen de specialist van team Xeiz RG en van team Baan van ASSET Rail vergroot de *gebiedskennis*, naast de kwantitatieve resultaten van de analyse. Vervolgens worden *handmatig de voorspelde onderhoudslocaties aangevuld met aandachtsgebieden* die op basis van de gebiedskennis van de specialisten zijn aangereikt. Dit leidt tot het *definitieve adviesrapport* voor ASSET Rail, inclusief een visualisatie van de locaties in een GIS-kaart en de bijgewerkte clusteringtool.

De afweging voor het wel of niet meenemen van de geadviseerde onderhoudslocaties en de aandachtsgebieden wordt door de specialisten Baan van ASSET Rail bepaald. De mee te nemen onderhoudslocaties en aandachtsgebieden worden in het onderhoudsmanagementsysteem Infor EAM als werkorder aangemeld, naast alle werkorders van het periodiek onderhoud welke voortkomen uit het reguliere onderhoudsplan. Daarnaast worden ook werkorders aangemaakt voor ongepland onderhoud. Deze komen voor uit *Rapporten van Onregelmatigheid (RVO's)*, meldingen van de afdeling *Operationeel Eigendomsbeheer (OEB)*, maar kunnen ook aangemaakt worden door *schouwers en hoofdmonteurs* met de mobiele applicatie *Advanced Mobile*. De geplande en ongeplande werkorders worden *vervolgens ingepland door de werkvoorbereider*. Dit levert een werkmap op met registratieformulieren welke de hoofdmonteurs gebruiken voor het uitvoeren van het liggingsonderhoud. Vervolgens kan het betreffende

*liggingsonderhoud uitgevoerd worden, waarbij aan het eind van deze activiteit de hoofdmonteur de bijgevoegde keurings-, afwijkings- en evaluatieformulieren invult en deze met de kettingpapierregistratie van de stopmachine inlevert bij de uitvoerder en specialist van ASSET Rail. Indien uit het keuringsformulier blijkt dat het liggingsonderhoud niet volgens de gestelde eisen is uitgevoerd, wordt door de specialist een nieuwe of aangepast werkorder aangemaakt. Indien het keuringsformulier wel goedkeuring heeft, wordt deze samen met de andere formulieren *gearchiveerd*. De werkorder wordt in Infor EAM afgesloten en gearchiveerd. Voor de volgende analyse met Xeiz RG worden een *lijst met afgesloten werkorders betreffende het liggingsonderhoud* van afgelopen half jaar, door de specialist Baan gestuurd naar ARCADIS. Deze lijst is vervolgens weer een databron voor de analyse met Xeiz RG.*

#### 4.1.2 ONTBREKENDE PROCESACTIVITEITEN

##### ***Geen sluitend onderhoudsproces door ontbrekende activiteiten***

De hiervoor geschreven activiteiten leiden weliswaar tot het proces van predictief liggingsonderhoud maar is nog niet een sluitend proces te noemen. Binnen ASSET Rail uiten respondenten dit door te zeggen dat de cirkel van “Plan-Do-Check-Act” onvoldoende is. Op basis van de analyse wordt gesteld dat alleen Plan en Do aanwezig zijn en zich uiten in het registreren van het uitgevoerde liggingsonderhoud in Infor EAM, archivering van de formulieren en het vervolgens gebruiken van het volgende advies. De terugkoppeling tussen ARCADIS en ASSET Rail en de medewerkers onderling wordt door alle respondenten als onvoldoende ervaren. Dit leidt volgens de respondenten tot het onvoldoende leren van de voorspellingen en het advies. Daardoor is niet duidelijk welk effect deze hebben op een afwijking van voorspellingen ten opzichte van wat is uitgevoerd of niet voorspeld is. Dit betekent volgens respondenten dat niet bekend is welke onderdelen van het advies worden gebruikt of dat advies juist is. Validatie van het advies is dus niet mogelijk, trendbreuken in de voorspellingen kunnen niet worden verklaard en is het niet mogelijk onderscheid te maken tussen meetfouten en afwijkingen in de analyse. Naast dat de factor tijdsdruk wordt genoemd door enkele respondenten, geven anderen ook aan dat men zich in eerste instantie niet bewust is van de noodzaak van een sluitend onderhoudsproces. De resultaten uit de analyse laten zien dat *validatie* ontbreekt om de *resultaten* van het advies en liggingsonderhoud te meten. Het uitvoeren van deze activiteiten is niet mogelijk met het ontbreken van voldoende *terugkoppeling* en het gebruik van *registratie*, *data* en samenwerking en communicatie tussen de medewerkers.

##### ***Onvoldoende validatie van het advies met het uitgevoerd onderhoud***

Validatie bestaat uit het vergelijken van het advies en bijbehorende voorspellingen met de werkelijke ligging in het contractgebied. Validatie van het advies dat ARCADIS levert aan ASSET Rail is volgens respondenten in beide organisaties van belang, maar op dit moment onvoldoende. Tot op heden is eenmalig een validatie uitgevoerd door twee specialisten van ARCADIS en ASSET Rail waarin de voorspellingen van Xeiz RG werden gevalideerd in het veld. Hierna is echter geen validatie meer gedaan, waardoor de hit-rate van de voorspellingen en het advies op dit moment niet bekend is. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat beide organisaties niet duidelijk inzichtelijk hebben wat de ander verwacht gevalideerd te willen hebben. Dit heeft een sterke relatie met de samenwerking en communicatie binnen medewerkers in het onderhoudsproces.

##### ***Geen prestatiemeting van het gegeven advies met het uitgevoerd onderhoud***

ARCADIS en ASSET Rail vinden het meten van resultaat van het advies en uitgevoerd onderhoud belangrijk voor de validatie van predictief liggingsonderhoud. Bij ASSET Rail zijn wel de hoeveelheid afwijkingen per maand in grafieken gevisualiseerd op een prikbord. Binnen ARCADIS is het gebruik van prestatie indicatoren nog in ontwikkeling. Ondanks dat respondenten graag de financiële besparingen en de hit-rate van de voorspellingen inzichtelijk willen hebben, heeft geen van de respondenten hier zicht op. Door respondenten wordt de verklaring gegeven dat de financiële besparing moeilijk meetbaar is. Het lijkt

erop dat bij respondenten de overtuiging van predictief liggingsonderhoud zwaarder weegt dan het doorrekenen van het financiële resultaat. De meerwaarde van predictief liggingsonderhoud wordt geuit als overtuiging en is op dit moment niet af te leiden uit financiële besparingen of de hit-rate. Volgens een respondent binnen ASSET Rail bestaat het resultaat uit het feit dat geplande werkzaamheden zijn voltooid en slechte stukken spoor weer goed liggen.

### ***Onvoldoende terugkoppeling***

Het valideren en prestatiemeting van het resultaat van predictief liggingsonderhoud is afhankelijk van de terugkoppeling in het proces. De terugkoppeling van data draagt bij aan het verklaren aan de hit-rate van de voorspelde onderhoudslocaties en positieve of negatieve trendbreuken in de voorspellingen. Op dit moment omvatten de teruggekoppelde data alleen een halfjaarlijkse uitdraai van werkorders van uitgevoerd liggingsonderhoud en overleg tussen specialisten van beide organisaties. Deze huidige terugkoppeling is echter ontoereikend voor de validatie en prestatiemeting. Respondenten lijken onvoldoende bewust te zijn van de noodzaak en mogelijkheden die het terugkoppelen van bepaalde data geeft. Het merendeel van de beschikbare data zijn bekend, maar het gebruik voor verbetering van het onderhoudsproces ontbreekt.

### ***Onvoldoende gebruik van beschikbare data***

Binnen ARCADIS en een deel van de respondenten binnen ASSET Rail zijn de data van de UFM 120 de belangrijkste data-bron in het onderhoudsproces. Deze data zijn objectief, kwantitatief en omvatten de relatieve afwijkingen van de spoorgeometrie op het moment van belast meten. Naast deze nagenoeg huidige conditie leveren de voorgaande metingen ook de historische conditie van de spoorgeometrie. Deze data gebruikt Xeiz RG om de kritieke punten met de kans op overschrijding in de toekomst kwantitatief en objectief te voorspellen. Toch blijft dit volgens respondenten nog onvoldoende om betrouwbare voorspellingen te doen. Een respondent binnen ASSET Rail verklaart: *“Men houdt zich helemaal vast aan die meettrein en die ultrasoon, die zijn hier goud waard. maar verder zien ze ook niks buiten. En dat is risicovol, want die meettrein ziet namelijk niet alles.”* Het buiten schouwen beoordeelt vooral ASSET Rail als een belangrijke bijdrage aan het predictief liggingsonderhoud, maar blijft volgens respondenten binnen ARCADIS een aanvulling op de data van de meettrein. In het huidige proces uit deze aanvulling zich in overleg tussen specialisten van ARCADIS en ASSET Rail, voordat een definitief advies wordt geleverd aan ASSET Rail. Naast dat de schouw volgens respondenten van ARCADIS lastig is te kwantificeren en subjectief, wordt de PCA door de opdrachtgever afgerekend door de afwijkingen die met de meettrein zijn gemeten. Toch komt uit de gesprekken in beide organisaties naar voren dat het meenemen van constatering uit de schouw waarschijnlijk leidt tot een beter advies.

Toch lijken data van de meettrein, uitgevoerd onderhoud door ASSET Rail, gebiedskennis en schouw onvoldoende voor predictief liggingsonderhoud. Volgens een respondent binnen ASSET Rail hebben werkzaamheden door derden ook invloed op de ligging van het spoor. Een deel is volgens deze respondent bekend bij ASSET Rail en wordt doorgegeven aan ARCADIS, maar een groot deel van deze werkzaamheden wordt niet doorgegeven of is niet eens bekend bij ASSET Rail. Dit kan leiden tot negatieve of positieve trendbreuken in je voorspelling, waarvan een deel niet verklaard kan worden. Een deel van de externe werkzaamheden wordt gehaald uit schouwers of monteurs die toevallig wijzigingen in het gebied zien. Ook wordt een deel van de externe werkzaamheden aangemeld door derden bij de OEB en sturen zij vervolgens de relevante werkzaamheden door naar de specialisten van ASSET Rail. Partijen die werkzaamheden willen verrichten in het gebied van de PCA moeten dit namelijk melden bij de betreffende OEB van de PCA. Bij deze werkzaamheden wordt soms monitoring van de spoorligging verplicht gesteld, maar hoeft pas een melding te worden gemaakt aan de OEB, wanneer de ligging een aantal millimeters is gezakt. Naast dat ARCADIS de informatie van de OEB niet krijgt, worden niet alle werkzaamheden gemeld bij de OEB, waardoor eventuele wijzigingen in de spoorligging onverklaarbaar blijven.

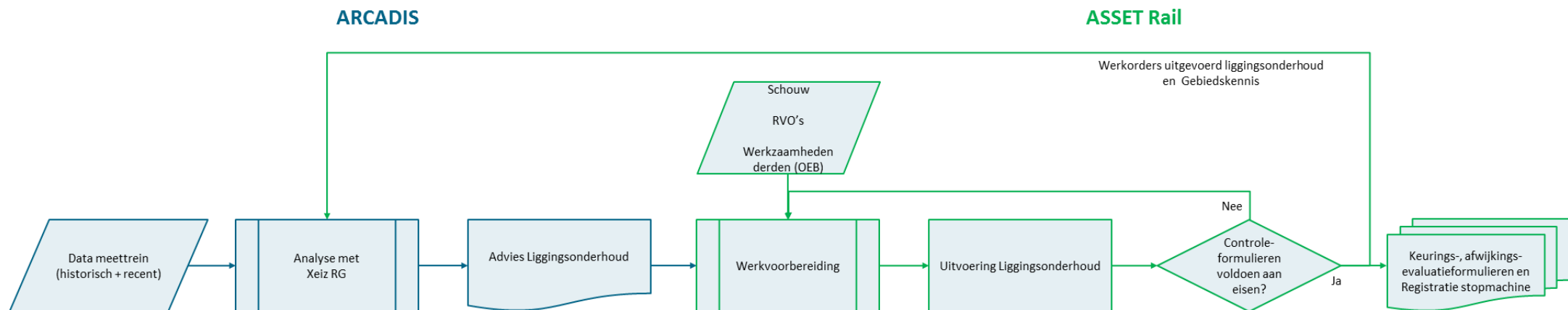
### ***Onvoldoende gebruik van geregistreerd uitgevoerd liggingsonderhoud***

Binnen het onderhoudsproces van ASSET Rail worden constatering en onderhoudsacties geregistreerd, maar onvoldoende gebruikt. Deze registratie is nodig om eventuele verantwoording af te leggen aan de opdrachtgever door het vastleggen van uitgevoerd liggingsonderhoud. Als een schouwer, hoofdmonteur of specialist constateert dat ergens liggingsonderhoud uitgevoerd moet worden kan door één van deze personen een werkorder worden aangemaakt met een omschrijving van de faalvorm. Deze werkorders zijn digitaal, bevatten soms foto's en zijn onderdeel van het onderhoudsmanagementsysteem van ASSET Rail. Op basis van geclusterde werkorders wordt het liggingsonderhoud vervolgens ingepland en uitgevoerd. De werkorder kan pas worden afgesloten als de zogenaamde keurings- afwijkings- en evaluatieformulieren zijn ingevuld en goedgekeurd. Indien niet aan de gestelde eisen wordt voldaan, zoals is beschreven in de werkmethodiek, kan de werkorder niet worden afgesloten en moet deze opnieuw worden ingepland. Goedgekeurde werkorders en afgetekende formulieren worden vervolgens in het archief bewaard. Dit archief bevat ook een uitdraai op kettingpapier van de stopmachine, waarop de ligging na onderstoppen is geregistreerd, evenals door de machinist bijgeschreven objecten in het spoor. Het uitgevoerde werk wordt echter alleen twee keer per jaar door de specialist van ASSET Rail teruggekoppeld naar ARCADIS door een lijst te maken van werkorders die betrekking hebben op de werkmethodiek liggingsonderhoud. Gedocumenteerde afwijkingen op het geplande liggingsonderhoud of data over objecten die invloed hebben op de voorspellingen worden niet verder gebruikt tenzij de opdrachtgever hierom vraagt. Niet alle geregistreerde data worden gebruikt terwijl dit wel waardevol lijkt te zijn voor de invloed op de voorspellingen.

### ***Onvoldoende trans-organisatorische constatering- en ideeënuitswisseling tussen medewerkers***

Waar op managementniveau de samenwerking en communicatie met daarin onder andere ideeën en constatering tussen de organisaties goed lijkt te zijn, wordt deze in de rest van het onderhoudsproces als onvoldoende ervaren. Sommige respondenten binnen ARCADIS ervaren de communicatie als eenrichtingsverkeer naar ASSET Rail met weinig directe communicatie, waardoor ze geen inzicht hebben hoe ASSET Rail en monteurs de adviezen ervaren. Dit wordt ook onderbouwd door de resultaten van de open vraag in de enquête (zie Tabel 4). Binnen zowel een aantal respondenten van ARCADIS als ASSET Rail heerst het gevoel dat niet veel met het advies van ARCADIS wordt gedaan en informatie uit de praktijk van ASSET Rail ook niet wordt gebruikt door ARCADIS. Het lijkt dat informatie wel wordt uitgewisseld tussen ARCADIS en ASSET Rail, maar dat weinig met deze informatie wordt gedaan. Daarbij wordt onvoldoende tijd als argument aangehaald, omdat ASSET Rail te druk bezig is met de dagelijkse werkzaamheden. Toch wordt door bepaalde specialisten binnen ARCADIS en ASSET Rail de communicatie en samenwerking als goed ervaren, maar wordt weinig gehoor gegeven aan hun constatering. Enkele medewerkers in het gehele onderhoudsproces zijn dus op de hoogte van elkaar en dit wordt ondersteund door de resultaten van de enquête (Afbeelding 27).





Afbeelding 26 Processchema huidig proces van liggingsonderhoud

## 4.2 MEDEWERKERS OVER PREDICTIEF LIGGINGSONDERHOUD

De vorige paragraaf beschrijft het huidige proces met de bijbehorende en ontbrekende activiteiten van predictief liggingsonderhoud binnen ARCADIS en ASSET Rail. Met een enquête is de kennis van de betrokken medewerkers over dit huidige proces van predictief liggingsonderhoud onderzocht. Op basis van het conceptueel raamwerk en de analyse van het huidige onderhoudsproces is namelijk de verwachting dat de kennis van medewerkers invloed heeft op het verbeteren van predictief liggingsonderhoud. De enquête geeft de mogelijkheid deze kennis snel van alle betrokken medewerkers in alle lagen en functies van het onderhoudsproces te ontdekken. Daarnaast geven de resultaten van de enquête een eerste overzicht van factoren die volgens deze medewerkers invloed hebben en van belang zijn voor het proces van predictief liggingsonderhoud.

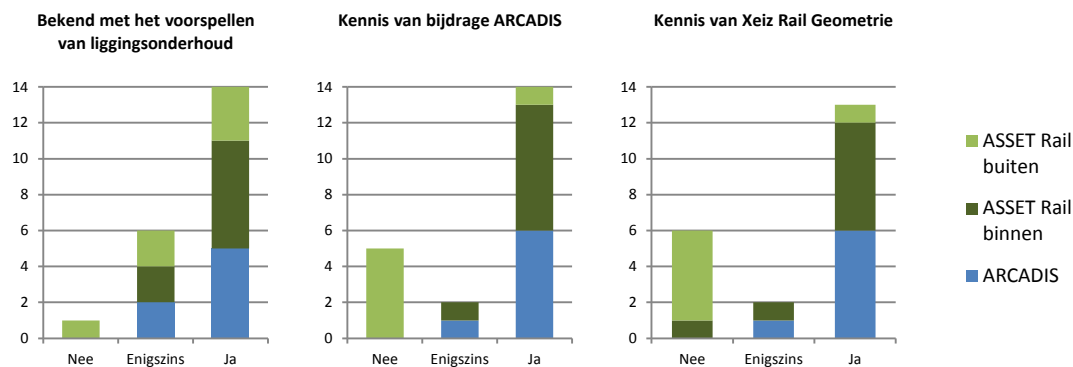
Paragraaf 2.3 geeft verdere toelichting over de keuze en methode voor het ontwerp en uitvoering van de enquête. De resultaten van de enquête zijn gebaseerd op een response van 21 personen (responspercentage van 56%), waarvan 14 afkomstig van ASSET Rail en zeven van ARCADIS (67% ASSET Rail en 33% ARCADIS). De verdeling van respondenten binnen de twee bedrijven is als volgt: Vanuit ASSET Rail zijn vijf respondenten hoofdmonteur Baan, vier met een managementfunctie en de overige vijf respondenten werken in de binnendienst. Binnen ARCADIS bestaan de respondenten uit vier specialisten, één projectleider, één adviseur en één respondent met een managementfunctie.

### 4.2.1 KETENKENNIS PREDICTIEF LIGGINGSONDERHOUD

Uit de resultaten van de enquête blijkt dat de kennis over predictief liggingsonderhoud bij de respondenten niet gelijkmatig is (zie Afbeelding 27). Binnen het onderhoudsproces is 67% van de respondenten bekend met het liggingsonderhoud, 28% enigszins en 5% is niet bekend met het liggingsonderhoud. Kijkend naar de bijdrage van ARCADIS aan het liggingsonderhoud heeft 67% van de respondenten hiervan kennis, 9% enigszins en 24% van de respondenten heeft hiervan geen kennis. Van Xeiz RG heeft 62% van de respondenten kennis, 9% enigszins en 29% heeft hiervan geen kennis.

Naast een overkoepelend beeld, zijn de respondenten ook te verdelen in functie. Binnen ASSET Rail blijkt dat de kennis van de hoofdmonteurs over het voorspellen van liggingsonderhoud verschilt. Zij zijn niet bekend met ARCADIS' bijdrage aan het liggingsonderhoud en Xeiz RG. De respondenten met een managementfunctie zijn allemaal bekend met het voorspellen van liggingsonderhoud en zijn ook op de hoogte van ARCADIS' bijdrage en Xeiz RG. De overige respondenten met als functie specialist Baan, -Onderhoudsmanagement of -Uitvoering, zijn enigszins tot volledig bekend met het voorspellen van liggingsonderhoud en de bijdrage van ARCADIS aan het liggingsonderhoud. Binnen deze groep van functies is de kennis van Xeiz RG bij deze respondenten verschillend.

Binnen ARCADIS zijn de specialisten enigszins tot volledig bekend met het voorspellen van liggingsonderhoud en de bijdrage van ARCADIS met Xeiz RG aan het liggingsonderhoud. De overige respondenten met als functie projectleider, adviseur of management zijn bekend het voorspellen van liggingsonderhoud en hebben kennis van de bijdrage van ARCADIS en Xeiz RG.



Abbeelding 27 Medewerkers' kennis over proces van predictief liggingsonderhoud.

De kwantitatieve resultaten van de enquête zijn mogelijk te verklaren door kwalitatieve analyse van de interviews en informele gesprekken met medewerkers gedurende het onderzoek. Medewerkers van ARCADIS zijn bekend met het voorspellen van liggingsonderhoud, doordat zij als onderdeel van het Xeiz RG-team direct bijdragen aan het advies over de toekomstige onderhoudslocaties. Medewerkers van ASSET Rail die direct communiceren met ARCADIS, hetzij op managementniveau of afdeling Baan zijn ook bekend met het voorspellen. Hun besef ligt vooral in de overtuiging dat de voorspellingen van het benodigde liggingsonderhoud leiden tot controle en het tijdig uitvoeren onderhoudsactiviteiten in het proces. Hoofdmonteurs en medewerkers die ook met andere afdelingen (naast team Baan) samenwerken hebben enigszins tot geen besef dat het liggingsonderhoud wordt voorspeld en dat ARCADIS hierbij betrokken is. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat zij niet tot weinig communiceren met ARCADIS. Ondanks dat niet alle medewerkers bekend zijn met het voorspellen en het gebruik van Xeiz RG, ziet iedereen wel de voordelen in van voorspellend liggingsonderhoud. Deze onwetendheid met tegelijkertijd het zien van de voordelen van voorspellen wordt door een hoofdmonteur verwoord als:

*Het mooie is eigenlijk dat je een soort bestandje kunt maken, dat je zegt op dat baanvak, op die kilometrering, tegen die overweg aan, daar zakt het drie keer per jaar weg. Daar moet je eigenlijk een beeld in zien te krijgen. En dan kun je op een gegeven moment iets inzichtelijk maken in Gelre en Eemland.*

Respondenten die wel bekend zijn met Xeiz RG beschouwen het als een tool, dat uit de grote hoeveelheid data de meetfouten herkent en na verdere filtering de toekomstige onderhoudslocaties van de spoorinfrastructuur voorspelt. Medewerkers van ARCADIS leveren dit eindresultaat aan als advies, gevisualiseerd in een GIS-kaart en de clustering-tool, waarna alleen de specialisten en het management van ASSET Rail het advies gebruiken om het liggingsonderhoud in te plannen.

De resultaten uit de enquête in combinatie met de gehouden interviews en informele gesprekken laten zien dat de ketenkennis van medewerkers over het predictief onderhoud invloed heeft op de verbetering. Respondenten hebben gedachten, ideeën en constatering die kunnen bij dragen aan het voorspellen van het liggingsonderhoud. Deze dragen echter op dit moment niet bij aan de verbetering, omdat niet iedereen zich hiervan bewust is en ook niet weten wie deze ideeën verder kan ontwikkelen.

#### 4.2.2 BELANG VAN MEDEWERKERS VOOR PREDICTIEF LIGGINGSONDERHOUD

Daarnaast is aan respondenten in een open vraag gesteld welke punten zij van belang vinden voor het proces van liggingsonderhoud. Hierop hebben 17 van de 21 respondenten antwoord gegeven. De geciteerde antwoorden zijn te vinden in Bijlage 2.2 en bevatten een ruime functieomschrijving van de respondent om de anonimiteit te waarborgen. De resultaten van de enquête laten zien dat respondenten binnen de verschillende onderdelen in het onderhoudsproces uiteenlopende belangen hebben, maar wel allemaal met het doel om gericht liggingsonderhoud te willen uitvoeren.

Inzicht in het uitgevoerde werk wordt zowel binnen ASSET Rail als ARCADIS als belangrijk benoemd. Binnen ARCADIS zijn *validatie, terugkoppeling* en *ketenkennis* de kernpunten die men belangrijk vindt voor de instandhouding van de spoorgeometrie. Een specialist verwoordt dit als: “(...) *Naar mijn mening zou er een langere en nauwere integratie moeten plaatsvinden tussen advies, uitvoering en evaluatie, als een doorlopend proces.*”

Binnen ASSET Rail zijn de onderwerpen meer verspreid tussen en binnen de functies. Bij de hoofdmonteurs komt echter overeen dat zij frequente monitoring en de bevindingen van de schouw belangrijk vinden, zodat preventief kan worden ingegrepen.

De antwoorden van de respondenten hebben overeenkomsten met een aantal te verwachten factoren die in het raamwerk zijn beschreven. De factor *Feedback* komt overeen met het kernpunt waarbij ARCADIS en ASSET Rail inzicht willen hebben in het uitgevoerde werk. Binnen ARCADIS moet de integratie van het onderhoudsproces en de kennis in deze keten worden bevorderd door *samenwerking en communicatie tussen medewerkers van verschillende activiteiten*. Door de hoofdmonteurs van ASSET Rail worden *subjectieve monitoring* door zintuigen en kennis en ervaring van de spoorinfrastructuur benadrukt. Door drie respondenten van ASSET Rail wordt de connectie gelegd met de *Branche*, waarin aandacht nodig is voor ProRail, inhuurbedrijven en werkzaamheden door derden. Daarnaast geven respondenten aan dat het *financieel rendement* belangrijk is om eer van het werk te hebben en dat de *kennis en ervaring van medewerkers* en *training* van inhuurpersoneel nodig is om voor liggingsonderhoud in te plannen en uit te voeren. De *uitvoering* van het liggingsonderhoud bestaat echter niet alleen uit het gebruik van stopmachines, maar ook uit handmatig liggingsonderhoud en onderhoud aan de spoorconstructie, zoals het vervangen van een dwarsligger of ballastvernieuwing.

Tabel 4 Overeenkomsten tussen het raamwerk en de empirie

| Empirie                              | Aandachtspunten                                | Verband met raamwerk                                                                     |
|--------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| ARCADIS en ASSET Rail                | Inzicht in uitgevoerd werk                     | Feedback                                                                                 |
| ARCADIS-Generiek                     | Terugkoppeling, validatie en ketenkennis       | Feedback, Samenwerking en communicatie tussen medewerkers van verschillende activiteiten |
| ASSET Rail- Hoofdmonteurs            | Frequent monitoren, bevindingen van de schouw  | Subjectieve monitoring                                                                   |
| ASSET Rail- Respondenten individueel | ProRail, inhuurbedrijven, werkzaamheden derden | Branche                                                                                  |

#### 4.2.3 CONCLUSIE

De resultaten uit de enquête stellen vast dat het merendeel van de medewerkers die de enquête heeft ingevuld, volledig bekend is met het uitvoeren van liggingsonderhoud op basis van voorspellingen. De kennis is dus aanwezig, maar niet bij alle betrokken medewerkers van het onderhoudsproces. Daarnaast zijn niet alle medewerkers in het onderhoudsproces zich bewust van de betrokkenheid van ARCADIS bij het liggingsonderhoud en de bijdrage van Xeiz RG. Deze kennis lijkt zich alleen te bevinden bij de medewerkers van ASSET Rail die veel contact hebben met medewerkers van team Xeiz RG. Zoals het raamwerk (Afbeelding 25) stelt en uit de resultaten van paragraaf 4.3 zal blijken, zal deze kennis wel in de gehele keten aanwezig moeten zijn om gericht liggingsonderhoud te kunnen uitvoeren en terugkoppeling van constatering te bevorderen. Kijkend naar de belangen van de respondenten binnen het liggingsonderhoud lijken deze uiteen te lopen, maar wel allemaal met het doel om gericht liggingsonderhoud te willen uitvoeren. Team Xeiz RG heeft vooral belang in meer integratie van het gehele onderhoudsproces voor predictief liggingsonderhoud. De buitendienst van ASSET Rail vindt monitoring door schouw belangrijk voor het kunnen voorspellen van liggingsonderhoud.

### 4.3 INVLOEDSFACTOREN OP HET PREDICTIEF LIGGINGSONDERHOUD

Naast dat de resultaten van de enquête de benodigde onderhoudsactiviteiten in relatie tot het huidige onderhoudsproces ondersteunen, geeft het ook een eerste overzicht van factoren die invloed hebben op het toepassen van predictief liggingsonderhoud. Vanuit dit overzicht zijn de invloedsfactoren op het huidige proces verder verklaard met diepte-interviews, informele gesprekken met betrokken medewerkers en bestudering van documenten. De uitgebreide methode voor het verklaren van deze invloedsfactoren is beschreven in paragraaf 2.3.

#### 4.3.1 MEDEWERKERS

##### *Voldoende inhoudelijke- maar onvoldoende ketenkennis*

De kennis en ervaring van medewerkers over predictief liggingsonderhoud draagt bij aan het valideren en het meten van de prestatie van het onderhoudsproces. Volgens de respondenten hebben medewerkers de inhoudelijke kennis en ervaring nodig voor het uitoefenen van hun functie binnen het onderhoudsproces. Dit volgens hun voldoende aanwezig. Daarnaast vinden zij de medewerker's kennis van andere activiteiten in het onderhoudsproces ook belangrijk. Doordat iedereen weet welke functie zij in het gehele onderhoudsproces hebben en welke relatie zij hebben met andere activiteiten in de keten, weet iedere medewerker waar hij op moet letten en naar wie hij constatering moet communiceren om het liggingsonderhoud gericht op basis van voorspellingen uit te voeren. Verschillende respondenten stellen echter dat de ketenkennis op dit moment onvoldoende is, door de heersende operationele drukte. Hierdoor wordt het leren kennen van elkaars bijdrage aan de verbetering van predictief liggingsonderhoud belemmerd.

##### *Moeizame overgang van een reactieve naar proactieve mentaliteit*

Ondanks dat medewerkers de inhoudelijke kennis en ervaring hebben met het voorspellen van liggingsonderhoud hebben zij wel een proactieve houding nodig om gericht predictief liggingsonderhoud te kunnen toepassen. Hierdoor gaan medewerkers zelf nadenken of geven zij terugkoppeling om te komen tot oplossingen ter verbetering van het gehele onderhoudsproces. Door respondenten in beide organisaties wordt gezegd dat deze houding bij medewerkers van ARCADIS al aanwezig is, maar binnen ASSET Rail is de houding nog deels reactief en afwachtend. Een verklaring hiervoor is dat een deel van de medewerkers van ASSET Rail in het verleden heeft gewerkt met OPC-contracten. Daarin vertelde de opdrachtgever wat uitgevoerd moest worden. Onderhoud wordt nu uitgevoerd op basis van PGO-contracten en dat is voor sommige medewerkers een cultuuromslag. Ook moet men nog te vaak reageren op gebeurtenissen uit de omgeving zoals onverwachte incidenten, storingen óf kunnen voorspelde onderhoudslocaties niet uitgevoerd worden, doordat de opdrachtgever een geplande buitendienststelling annuleert. Met daarbij de altijd heersende tijdsdruk die veel medewerkers als algemene verklaring geven, lijkt de verandering naar een proactieve houding van medewerkers moeizaam te verlopen.

##### *Scholing en training*

De kennis en ervaring van medewerkers voor het uitoefenen van hun functie is mede het resultaat van scholing. De monteurs van ASSET Rail zelf krijgen voldoende scholing en hebben de kennis en ervaring om liggingsonderhoud te kunnen uitvoeren. Maar ASSET Rail huurt ook monteurs en stopmachines in en zij zijn niet altijd op de hoogte van predictief liggingsonderhoud. Kijkend naar de kennis van softwaretools lijkt dit nu bij een beperkt aantal personen binnen ARCADIS te liggen, terwijl wel wordt voorgesteld door respondenten dat meer mensen binnen zowel ARCADIS als ASSET Rail hiermee moeten kunnen werken. Respondenten beargumenteren dat de huidige beslissingsondersteunende software te complex is om het inhoudelijk te begrijpen, waardoor training niet mogelijk is.

### *Sterk maar ongestuurd champion behaviour*

Uit de gesprekken met de respondenten blijkt dat het toepassen van predictief liggingsonderhoud voldoende wordt gepromoot en gestimuleerd door het management van ARCADIS en ASSET Rail. De respondenten in beide organisaties vertellen dat dit promoten en stimuleren ook heel sterk aanwezig is onder de betrokken medewerkers van ARCADIS. Een respondent binnen ASSET Rail laat weten dat hij zich hierdoor gesteund voelt, omdat medewerkers van ARCADIS bijvoorbeeld helpen bij het aantonen van een meetfout, veroorzaakt door de meettrein. Ondanks dat respondenten vertellen dat het promoten en stimuleren gebruikt moet worden om verder te ontwikkelen en de kwaliteit van predictief liggingsonderhoud te verhogen, leidt dit niet tot verdere ontwikkeling. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat medewerkers allerlei ideeën hebben naast hun dagelijkse werkzaamheden, waardoor een hele spreiding van ontwikkelingsrichtingen is ontstaan zonder een duidelijke richting. Dit bemoeilijkt volgens een respondent van ARCADIS het verbeteren van het predictief liggingsonderhoud. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat de doelen die gesteld zijn door het management ontoereikend zijn of niet zichtbaar, met als gevolg dat champion behaviour bij medewerkers onvoldoende doeltreffend is en ook niet leidt tot gericht continue verbeteren.

## 4.3.2 ORGANISATIE

### *Continue verbetering onvoldoende*

Voor het valideren en meten van de prestatie van predictief liggingsonderhoud is het continue verbeteren van het onderhoudsproces volgens respondenten essentieel. Zij geven aan dat je hierdoor inzicht krijgt in waar je mee bezig bent, daardoor de kwaliteit van het predictief liggingsonderhoud vergroot, maar dat continue verbetering ook moet leiden tot het breder kijken dan alleen gericht onderhoud op afwijkingen van de parameters hoogte en schift. Een slecht ballastbed, dwarsliggers of andere constructieve elementen hebben namelijk ook invloed op kwaliteit van de spoorligging en leveren afwijkingen voor andere parameters op. Zowel binnen ARCADIS als ASSET Rail is men het erover eens dat die continue verbetering op dit moment onvoldoende is of helemaal niet aanwezig is volgens enkele respondenten. Een argument dat respondenten geven is dat medewerkers niet bewust bezig zijn met verbeteren. Er is volgens respondenten voldoende overleg tussen specialisten van ARCADIS en ASSET Rail, maar een expliciet doel of plan voor verbetering ontbreekt. Daarnaast geven respondenten aan dat onvoldoende tijd, geld, mensen en regelgeving in de spoorbranche, het continue verbeteren bij zowel ARCADIS als ASSET Rail belemmert. Tot slot heerst er bij een aantal respondenten binnen ARCADIS en ASSET Rail het gevoel dat ARCADIS zich vooral focust op de toekomst, maar ASSET Rail gefocust blijft op de korte termijn vanwege de operationele drukte door de omgeving waarin zij werken.

### *Management van het onderhoudsproces*

In het huidige onderhoudsproces komt de invloed van het management hoofdzakelijk tot uitdrukking in het uitdragen van een visie en is dit volgens respondenten duidelijk aanwezig. Een concreet voorbeeld is een uitzending van 30 januari 2013 in het actualiteitenprogramma Nieuwsuur waarin de directeur van ASSET Rail deze visie uitdraagt. Respondenten laten echter binnen zowel ASSET Rail en ARCADIS weten dat de betrokkenheid onvoldoende is. Respondenten geven de verklaring dat de werkdruk van het management hoog is en zij vooral bezig is de organisatie draaiende te houden, waardoor het lastig is aandacht te besteden aan verbetering. Daarnaast verklaart een respondent binnen ARCADIS dat het management veel vertrouwen heeft in de medewerkers van ASSET Rail, waardoor je elkaar loslaat en geen zicht meer hebt op de richting van verbeteren. Middelen voor het verbeteren of zelfs uitvoeren van voorspelde onderhoudslocaties zijn soms in onvoldoende mate aanwezig. Een respondent laat namelijk blijken dat voorspelde locaties niet altijd aangepakt kunnen worden, doordat het budget hiervoor onvoldoende is, het beschikbare budget als is gebruikt of gereserveerd is voor ongepland onderhoud.

### 4.3.3 TECHNIEK

#### *Onderhoudsmanagementsystemen en digitalisering als ondersteuning*

ASSET Rail gebruikt verschillende software als ondersteuning voor het constateren en voorbereiden van het liggingsonderhoud. Infor EAM is het onderhoudsmanagementsysteem van ASSET Rail waarin voor benodigd onderhoud werkorders worden aangemaakt en verwerkt. Na uitvoering van het onderhoud volgens de desbetreffende werkmethode wordt de werkorder in dit systeem gearchiveerd. Hoofdmonteurs en schouwers kunnen bij constateringen direct werkorders aanmaken of inzien in het systeem via een tablet met de applicatie Advanced Mobile. Aan deze werkorder kunnen zij beschrijvingen en foto's toevoegen ter verduidelijking. De specialist beslist uiteindelijk of deze werkorder wordt doorgezet naar de werkvoorbereider en wordt ingepland. Een respondent binnen ASSET Rail laat weten dat door het gebruik van Advanced Mobile de doorlooptijd van de aanmaak tot afsluiting van werkorder van zes weken naar twee dagen is gereduceerd. Ondanks dat werkorders digitaal zijn en deze overall aangemaakt kunnen worden met behulp van een online-verbinding, worden geclusterde werkorders met alle registratieformulieren nog steeds hard-copy geleverd in werkmappen aan hoofdmonteurs. Vervolgens moeten deze registratieformulieren weer worden gedigitaliseerd en verwerkt. Volgens respondenten binnen ASSET Rail vraagt dit onnodig veel tijd en zien ze graag dat dit ook gedigitaliseerd wordt, zodat zij meer aandacht kunnen besteden aan het dagelijks onderhoud. Door een respondent van de ICT-afdeling van ASSET Rail wordt verteld dat deze digitalisering wel is aangeboden, maar gedacht werd dat specialisten en monteurs hier geen behoefte aan hebben. Dit ondersteunt de te verwachten factor dat kennis en ervaring over andere activiteiten in het proces van belang is. Ondanks dat digitalisering ondersteuning biedt in het onderhoudsproces, is volgens de respondent van de ICT-afdeling de omschakeling van papier naar digitaal binnen ASSET Rail onderschat. Voor de binnendienst reduceert dit weliswaar de verwerking van de administratie, maar voor de buitendienst kost het digitaal invullen meer tijd en worden zij verminderd in hun flexibiliteit, omdat de digitale invulvelden bepalen wat zij wel en niet kunnen noteren. Door respondenten binnen ASSET Rail wordt wel aangegeven dat jongere medewerkers hier minder moeite mee hebben, dan de oudere en meer ervaren medewerkers. Zij kunnen die omschakeling volgens de respondenten sneller maken.

#### *Beslissingsondersteunende systemen*

Naast het onderhoudsmanagementsysteem van ASSET Rail wordt ook het beslissingsondersteunend systeem Xeiz RG gebruikt, dat vanuit het Europese onderzoek ECOTRACK is doorontwikkeld en wordt gebruikt door ARCADIS. De resultaten van Xeiz RG zijn onderdeel van het advies voor het toekomstig liggingsonderhoud van ASSET Rail. De input voor Xeiz RG zijn de data van de meettrein met onder andere de parameters hoogte en schift. Voor deze parameters voorspelt het beslissingsondersteunende systeem voor de komende jaren de risicovolle overschrijdingen van deze parameterwaarden. De resultaten van Xeiz RG omvatten de locatie, het tijdstip en risico van overschrijding van deze parameters. Een respondent binnen ARCADIS stelt dat Xeiz RG alleen een voorspelling kan doen over de gemeten parameters. Samen met het overleg tussen ARCADIS en ASSET Rail moeten dit uiteindelijk leiden tot een advies voor ASSET Rail, waarin de risicovolle locaties worden benoemd. Uit de gesprekken met andere respondenten binnen de beide organisaties blijkt dat Xeiz RG nodig is om de grote hoeveelheid en complexe data van de meettrein te kunnen verwerken. Een respondent binnen ARCADIS vertelt:

*Dat is nodig, alleen al om het behapbaar te maken. Zonder een model heb je heel veel data, maar geen informatie omdat het te veel is. Dus je moet er een filter, iets overheen gooien om te krijgen wat je kan behappen, waar je wat mee kan.*



#### 4.3.4 SPOORBRANCHE EN OMGEVING

Ondanks dat de scope van het onderzoek is afgebakend op ARCADIS en ASSET Rail blijkt uit de gesprekken van respondenten dat de omgeving en partijen in de spoorbranche invloed hebben op het voorspellen van liggingsonderhoud.

##### *Ongepland gaat voor gepland onderhoud*

Medewerkers binnen ASSET Rail geven aan dat het liggingsonderhoud vooral wordt beheerst door de omgeving waarin liggingsonderhoud plaatsvindt. Binnen ARCADIS wordt hiermee het gevoel bevestigd dat ASSET Rail te weinig gebruik maakt van het geleverde lange termijn advies en dat ASSET Rail tot drie maanden vooruit kijkt. De geadviseerde onderhoudslocaties worden wel door ASSET Rail ingepland, maar worden onderbroken en verschoven naar de toekomst zodra vanuit de schouw of de opdrachtgever de melding wordt gemaakt (RVO) dat in het contractgebied de ligging van het spoor buiten de norm ligt of ander onderhoud moet worden uitgevoerd. Daarbij wordt door verschillende respondenten de term ‘brandjes blussen’ gehanteerd. Deze brandjes moeten eerst geblust worden alvorens ingeplande werkzaamheden zoals voorspelde onderhoudslocaties, uitgevoerd kunnen worden. Volgens sommige respondenten binnen ASSET Rail zijn onverwachte meldingen te wijten aan (onbekende) werkzaamheden aan het spoor door derden of incidentele verzakking van de onderbouw door bijvoorbeeld hevige neerslag of ondergravingen door fauna.

##### *Stakeholderrelaties en -afhankelijkheid*

Ondanks dat de zogenaamde brandjes invloed hebben op het uitvoeren van het voorspelde onderhoud lijken andere belanghebbende partijen in de spoorbranche ook invloed te hebben op predictief liggingsonderhoud. Een positieve invloed is volgende respondenten binnen ASSET Rail de goede relatie met de maintenance engineers en inspecteurs van ProRail. Daarbij noemt één respondent de term ‘transparantie vanuit ASSET Rail’ als argument voor deze goede relatie. Ook de goede relatie met de huidige inspecteur van ProRail draagt volgens een respondent bij aan het wel of niet ontstaan van een zogenaamd brandje. Volgens de respondent zou een nieuwe en jongere inspecteur strenger kunnen zijn, met als gevolg eerdere meldingen van een brandjes. Een respondent binnen ARCADIS geeft aan dat Eurailscout invloed heeft op de betrouwbaarheid van de analyse en de daaruit voortkomende voorspellingen. Zij meten namelijk de spoorgeometrie met de UFM 120, zetten dit om in data, met hoogstwaarschijnlijk een bewerking van deze data, voordat dit wordt geleverd aan alle PCA's en ProRail.

### 4.4 VALIDATIE EN CONCLUSIE

#### *Validatie*

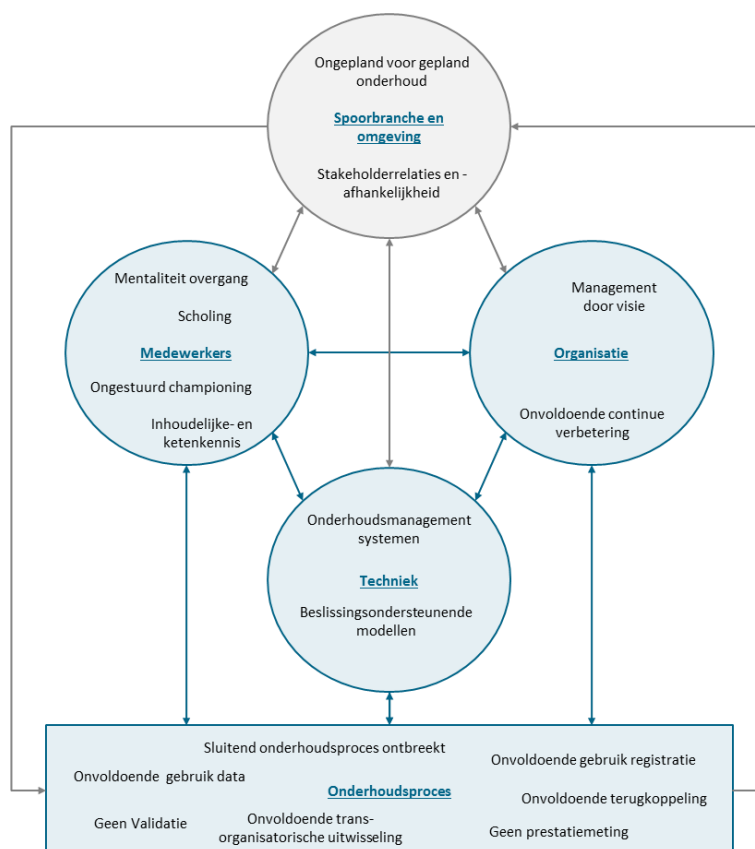
De validatie toetst de beschreven en gevisualiseerde resultaten van het huidige proces met het werkelijke proces van liggingsonderhoud. Paragraaf 2.3.3 beschrijft de methode van valideren. De validatie toont daarnaast aan dat alle respondenten uit de interviews het eens zijn met het beschreven en het gevisualiseerde huidige proces. Zij bevestigen dat de terugkoppeling naar ARCADIS niet altijd aanwezig is. Toch geeft één respondent binnen ASSET Rail aan dat het huidige proces al cyclisch en lerend is. De mogelijke verklaring hiervoor is dat het perspectief van de respondent niet het trans-organisatorische, maar het onderhoudsproces binnen ASSET Rail omvat, dat wel lerende cycli heeft. Daarnaast zijn de opmerkingen van de validatie gebruikt om het processchema te vereenvoudigen.

#### *Conclusie*

De analyse van de resultaten uit het empirisch onderzoek beantwoordt de volgende onderzoeksvraag: Waarom sluit het huidige proces van liggingsonderhoud van ASSET Rail niet aan bij de strategie van

ASSET Rail om predictief liggingsonderhoud te implementeren, ter instandhouding van de spoorligging binnen de prestatienorm?

Op basis van het conceptueel raamwerk en het empirisch onderzoek binnen ARCADIS en ASSET Rail wordt gesteld dat het huidige onderhoudsproces (Afbeelding 26) niet sluitend en lerend is om predictief liggingsonderhoud te verbeteren. Door onvoldedige **terugkoppeling** van de beschikbare en noodzakelijke **data**, is het niet mogelijk de geleverde adviezen en het uitgevoerde liggingsonderhoud te **valideren** en inzicht te krijgen in de **prestatie** van het predictief liggingsonderhoud (zie Afbeelding 28). Hierdoor kan niet gericht worden gestuurd op de **continue verbetering** van het predictief liggingsonderhoud, met als doel alleen het noodzakelijke liggingsonderhoud uit te voeren. Daarnaast wordt het predictief liggingsonderhoud beïnvloed door **stakeholders** en zogenaamde brandjes in het spoor dat die leiden tot **ongepland onderhoud** dat urgenter is dan predictief liggingsonderhoud. Hierdoor kunnen voorspelde locaties niet altijd uitgevoerd worden of kloppen niet meer door onbekende wijzigingen in de spoorinfrastructuur. Samenwerking en communicatie, in de vorm van **kennisdeling in de keten** tussen de medewerkers is belangrijk voor het bereiken van het doel van gericht predictief liggingsonderhoud, maar is nog onvoldoende. Dit vraagt van medewerkers een verandering naar een **proactieve mentaliteit** met de kennis en ervaring die zij hebben ter verbetering van hun eigen werkzaamheden en dat van andere in het onderhoudsproces. **Champion behaviour** door medewerkers stimuleert de verbetering, maar leidt nu tot ongecontroleerde verbetering. De visie die het **management** duidelijk heeft is onvoldoende om te sturen naar de beoogde verbetering. **Scholing** is één van de middelen die invloed heeft op de proactieve mentaliteit. Naast scholing ondersteunen technieken zoals **onderhoudsmanagementsystemen**, **beslissingsondersteunende modellen** het onderhoudsproces door het sneller, gecontroleerder uitvoeren en verbeteren van het predictief liggingsonderhoud.



Afbeelding 28 Invloedsfactoren op het huidige onderhoudsproces resulterend uit het empirisch onderzoek binnen ARCADIS en ASSET Rail met het onderzoeksperspectief van het conceptueel raamwerk

## 5

## Veranderplan predictief liggingsonderhoud

In het vorige hoofdstuk is het conceptueel raamwerk aangepast aan het huidige onderhoudsproces binnen ARCADIS en ASSET Rail met de bijbehorende invloedsfactoren. Beschouwd vanuit hetzelfde raamwerk beschrijft dit hoofdstuk het ontworpen veranderplan vanuit het gewenste onderhoudsproces en hoe de factoren invloed op hebben op de verandering. In hoofdstuk 4 is vastgesteld dat alle activiteiten in het onderhoudsproces samen leiden tot gericht predictief liggingsonderhoud. Het huidige onderhoudsproces (zie Afbeelding 26), de factoren (Afbeelding 28) en de data uit het empirisch onderzoek leidden tot het ontwerp van het veranderplan. De methode voor het ontwerp is beschreven in paragraaf 2.4.

### 5.1 ONTWERP GEWENST PROCES VAN PREDICTIEF LIGGINGSONDERHOUD

Het resultaat van het empirisch onderzoek stelt vast dat het huidige proces van liggingsonderhoud (Afbeelding 26) elk half jaar wordt uitgevoerd als *lineair onderhoudsproject*. Ten opzichte van het huidige proces visualiseert het ontwerp (Afbeelding 29) het gewenste proces als een **lerend cyclisch proces van predictief liggingsonderhoud** is. Een uitgebreider processchema is te vinden in Bijlage 6.2. De toevoegingen en wijzigingen aan het gewenste proces zijn hierna beschreven en te relateren aan de genummerde procesactiviteiten in Tabel 5.

Op dit moment wordt het liggingsonderhoud niet volledig op basis van het advies van ARCADIS uitgevoerd. Constateringen vanuit bijvoorbeeld de schouw, RVO's en werkzaamheden door derden beïnvloeden ook het uit te voeren liggingsonderhoud. Hierdoor is het doel van het volledig predictief liggingsonderhoud gezien de voorgenoemde constateringen nog niet realiseerbaar. Om de degradatie van de spoorligging te beheersen moet ook rekening worden gehouden met ongepland onderhoud.

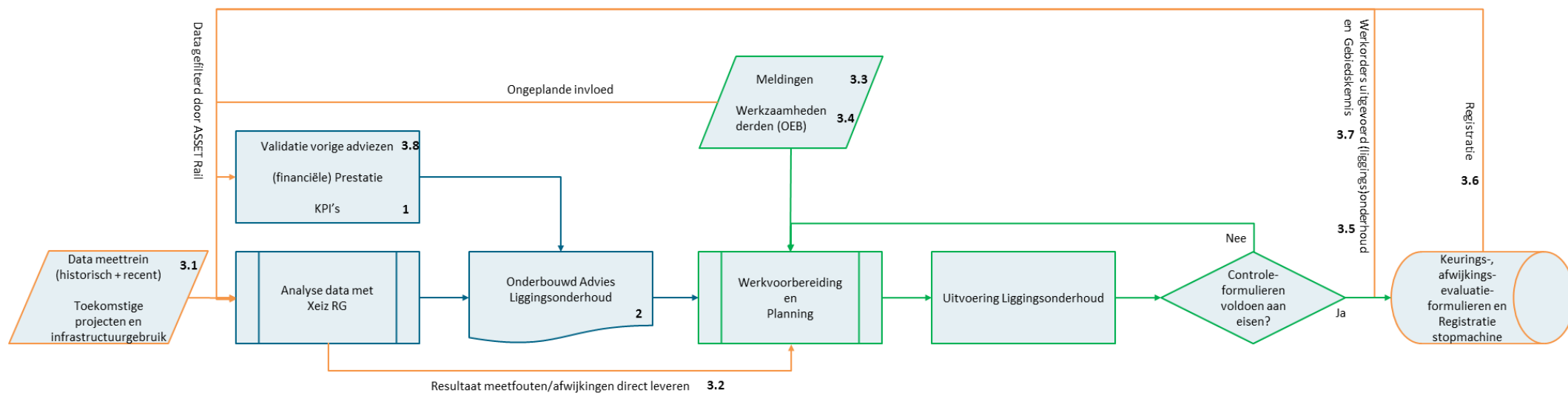
#### *Cyclisch lerend onderhoudsproces*

Alle respondenten binnen beide organisaties vinden een cyclisch lerend onderhoudsproces belangrijk voor het gericht voorspellen van het uit te voeren liggingsonderhoud. Zij stellen dat het proces sluitend moet worden gemaakt door zowel ARCADIS als ASSET Rail. ARCADIS wil van ASSET Rail horen of het advies valide is en volledig is gebruikt, locaties zijn gemist en welke locaties niet zijn geadviseerd, maar wel een risico zijn. ASSET Rail wil van ARCADIS horen of het uitgevoerde onderhoud daadwerkelijk nodig was en moet signalen doorgeven als ARCADIS merkt dat ASSET Rail locaties mist. De verandering naar een lerend cyclisch onderhoudsproces ontstaat in hoofdzaak door het krijgen van een onderbouwd advies dat door ARCADIS geleverd wordt aan ASSET Rail (zie Afbeelding 29 en Tabel 5). Het onderbouwd advies bestaat uit de voorspelde onderhoudslocaties en aandachtsgebieden, maar nu ook uit validatie en prestatie van de vorige adviezen met het uitgevoerde liggingsonderhoud. Voor de validatie en prestatie van het predictief liggingsonderhoud zal ASSET Rail data moeten terugkoppelen naar ARCADIS. Dit leidt tot het zogenaamde *single-loop learning*, waarbij geleerd wordt van de procesoutput.

## Legenda

|                                   |                                                                                   |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Samenwerking ARCADIS & ASSET Rail |  |
| Activiteiten ARCADIS              |  |
| Activiteiten ASSET Rail           |  |

NB De activiteiten beschrijven weliswaar wie hoofdzakelijk deze activiteit uitvoert, maar dit is alleen mogelijk met samenwerking en inbreng van de andere partij.



Afbeelding 29 Processchema gewenst proces van liggingsonderhoud

Tabel 5 Toegevoegde en gewijzigde procesactiviteiten voor het gewenste proces van predictief liggingsonderhoud

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Procesactiviteit (Interventie)                      | Wat moet ARADIS of ASSET Rail doen?                                                                                           | Waarom moet ARCADIS/ASSET Rail dat doen?                                                                    | Doel                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>Validatie en Prestatiemeting</b>                 | Vergelijking van (teruggekoppelde) data met voorgaande adviezen                                                               | Specialist Baan en projectleider ARCADIS, omdat zij verantwoordelijk zijn voor het onderbouwd advies        | Leren van voorgaande adviezen en onderhoud           |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>Onderbouwd advies</b>                            | Samenvoegen van voorspellingen, Validatie en Prestatie                                                                        | Specialist Baan en projectleider ARCADIS, omdat zij verantwoordelijk zijn voor het onderbouwd advies        | Lerend cyclisch onderhoudsproces                     |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>Terugkoppeling</b>                               | Zie interventie 3.1 t/m 3.8                                                                                                   | Zie interventie 3.1 t/m 3.8                                                                                 | Onderbouwen advies                                   |
| 3.1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Toekomstige projecten en gebruik van infrastructuur | Opvragen bij ProRail en communiceren naar specialist Xeiz RG                                                                  | Specialisten ARCADIS en ASSET Rail hebben toegang tot betreffende data. Specialist Xeiz RG gebruikt de data | Betrouwbaardere voorspelling                         |
| 3.2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Resultaat meetfouten/afwijkingen doorgeven          | Na analyse van overschrijdingen door specialist Xeiz RG worden resultaten direct naar specialist Baan van ASSET Rail gestuurd | Specialist Xeiz RG heeft de resultaten van de analyse                                                       | Voorkomen van onnodige opnamen in het spoor          |
| 3.3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Meldingen                                           | Communiceren van spoorligging gerelateerde meldingen (RVO's en constatering schouwer of monteur) naar specialist Baan ARCADIS | Communiqueert specialist Baan ASSET Rail, omdat de specialist meldingen al ordent                           | Verklaren prestatie en validatie advies en onderhoud |
| 3.4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | OEB                                                 | Communiceren van werkzaamheden door derden naar specialist Baan en Spoor ARCADIS voor analyse                                 | Communiqueert medewerker OEB van ASSET Rail omdat medewerker de data heeft                                  | Verklaren prestatie en validatie advies en onderhoud |
| 3.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Werkorders van uitgevoerd (liggings)onderhoud       | Communiceren van werkorders naar specialist Xeiz RG voor analyse van voorspellingen                                           | Communiqueert specialist Baan ASSET Rail, omdat de specialist meldingen al ordent                           | Verklaren prestatie en validatie advies en onderhoud |
| 3.6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Registratieformulieren                              | Openbaar maken van formulieren voor specialist Baan ARCADIS                                                                   | Medewerkers ASSET Rail, omdat zij dit beheren                                                               | Verklaren prestatie en validatie advies en onderhoud |
| 3.7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Uitwisseling gebiedskennis                          | Gesprek tussen specialisten Baan van ARCADIS en ASSET Rail met eventueel schouwers en monteurs                                | Zowel specialisten ARCADIS als ASSET Rail, omdat zij gebiedskennis hebben                                   | Verklaren prestatie en validatie advies en onderhoud |
| 3.8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Adviezen                                            | Voorgaande adviezen onderdeel maken van de validatie en prestatie                                                             | Specialist Baan en projectleider ARCADIS, omdat zij verantwoordelijk zijn voor het volgende advies          | Verklaren prestatie en validatie advies en onderhoud |
| NB De activiteiten zoals hierboven beschreven en gevisualiseerd in Afbeelding 29, zijn geen expliciete verdeling tussen ARCADIS en ASSET Rail. De activiteiten beschrijven weliswaar wie hoofdzakelijk deze activiteit uitvoert, maar dit is alleen mogelijk met samenwerking en inbreng van de andere partij. Het onderhoudsproces is namelijk trans-organisatorisch. |                                                     |                                                                                                                               |                                                                                                             |                                                      |

## 1 Validatie en prestatiemeting

De noodzaak van het valideren en meten van de prestatie als onderdeel van het proces wordt duidelijk met de hierna volgende citaten. ARCADIS verwacht van ASSET Rail te horen:

*(...) dit is wat wij met het advies hebben gedaan (...), dit is nog wat wij van plan zijn te gaan doen. Dit zijn gewoon onzin adviezen die je hebt gegeven. Die willen we de volgende analyse graag niet meer zien.*

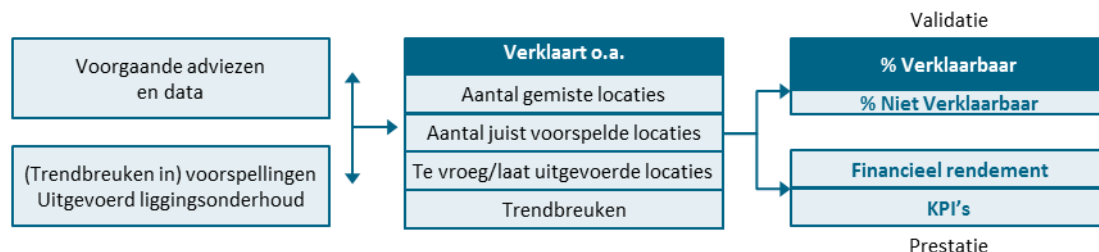
Een andere respondent binnen ARCADIS stelt:

*Wij moeten inderdaad meer pushen, van goh, wat hebben jullie gedaan met ons vorige advies? Niet genoeg nemen met, oh. Maar gewoon doorvragen en aandringen dat ze er ook echt wat mee doen. En dat moet niet alleen meer bij ons vandaan komen.*

Maar ASSET Rail lijkt daarentegen meer te verwachten van ARCADIS, zoals:

*Wordt te weinig gepusht vanuit ARCADIS om dat te gaan gebruiken. Ze roepen wat, positief bedoeld hoor, maar er mag wel ook iets meer van verwacht worden dan alleen dat roepen en het plaatje laten zien. (...) Ontwikkel maar. En niet wachten totdat er een opdracht komt. Dat is puur commercieel gedacht. (...) Want je hebt historie opgebouwd en je hebt daardoor het voorspellend vermogen en op het moment dat je het af gaat wijken, moet je dat signaleren. En natuurlijk is dat de enige die daar wat op kan zeggen zijn wij. Want wij hebben er wat mee gedaan of wij kunnen herleiden wat er is gebeurd. Maar dan moeten we het wel weten. En die signaalfunctie moet dan weer van ARCADIS komen.*

Voor het valideren en meten van de prestatie is input nodig vanuit de terugkoppeling en data van ProRail. Het valideren en meten van de prestatie wordt gedaan door het verklaren van eventuele trendbreuken in de voorspellingen en het verklaren van uitgevoerd onderhoud in vergelijking met de voorgaande adviezen en data uit het verleden (Afbeelding 30). Hieruit wordt bijvoorbeeld verklaard hoeveel locaties van de vorige adviezen juist zijn voorspeld, welke locaties zijn gemist, welke locaties te vroeg zijn uitgevoerd of juist te laat. De terechte overschrijdingen die vanuit ProRail zijn gemeld kunnen bijvoorbeeld verklaard worden doordat de OEB heeft gemeld aan ARCADIS dat derden werkzaamheden hebben verricht op de locatie van overschrijding.



Afbeelding 30 Vergelijking van voorgaande jaren leidt tot verklaringen van de mate van predictief liggingsonderhoud, het valideren van predictief liggingsonderhoud en de prestatie hiervan

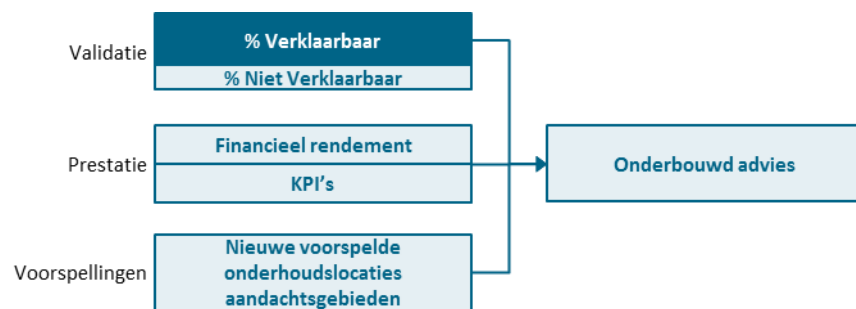
Een positieve of negatieve trendbreuk (i.e. wijziging van de voorspelde trend van degradatie) voor een bepaalde locatie, kan bijvoorbeeld worden verklaard doordat daar een RVO heeft plaatsgevonden. Vervolgens leiden de verklaringen tot validatie van de voorgaande adviezen. Deze validatie toont aan in hoeverre de voorgaande adviezen leidden tot gericht liggingsonderhoud. Het deel dat niet leidde tot gerichte onderhoudsacties kan deels verklaard worden met de data. Een deel blijft namelijk onverklaarbaar. Denk bijvoorbeeld aan de persing van een mantelbuis onder het ballastbed door derden, welke invloed heeft gehad op spoorligging, maar niet gemeld is aan de OEB. Een ander voorbeeld is verzakking door uitspoeling na een hevige regenbui. Validatie is dus niet 100% mogelijk, maar gebruik van de beschikbare data geeft inzicht in de mate van betrouwbare validatie.

De validatie gecombineerd met de verklaringen leidt ook tot het inzichtelijk krijgen van het prestatie van predictief liggingsonderhoud, in de vorm van het financieel rendement en KPI's. Het financieel rendement

wordt bepaald door de kosten van afgelopen onderhoudsjaren te vergelijken. ASSET Rail kan bijvoorbeeld de vergelijking maken met de kosten van voorspelde inzet stopmachines, met de daadwerkelijk kosten van ingezette stopmachines en de door ProRail gekregen bonus/malus op geregistreeerde afwijkingen in de spoorligging. KPI's monitoren de (financiële) prestatie van het predictief liggingsonderhoud en geven het management en de medewerkers inzicht in de doelen die zijn gesteld en het sturen hierop. Voor het monitoren van het gezamenlijk doel zullen de KPI's door het management van beide partijen ontwikkeld moeten worden.

## 2 Onderbouwd advies

De resultaten van de validatie en (financiële) prestatie van het predictief liggingsonderhoud in het verleden, samen met de nieuwe voorspelde onderhoudslocaties en aandachtsgebieden, leiden tot een onderbouwd advies voor ASSET Rail (Afbeelding 31). In het advies staat ook beschreven wat geleerd is van de voorgaande adviezen, het uitgevoerde liggingsonderhoud en hoe deze nieuwe kennis is verwerkt in het huidige advies. Door de voorgenoemde activiteiten voor elk nieuw advies te herhalen, ontstaat een lerend cyclisch proces van predictief liggingsonderhoud. Dit leidt tot inzicht in de historische, recente en de toekomstige adviezen en uitvoering van predictief liggingsonderhoud. ARCADIS en ASSET Rail kunnen hierdoor in de toekomst gericht liggingsonderhoud toepassen. Het gericht liggingsonderhoud uit zich in de exacte onderhoudslocaties en tijdstippen, met minimale inzet van stopmachines en onderhoudskosten.



Afbeelding 31 Onderbouwd advies door Voorspellingen, Validatie en Prestatie

## 3 Terugkoppelen van data

Voor het creëren van een cyclisch lerend proces door validatie en prestatiemeting is terugkoppeling van de data nodig. Respondenten geven niet expliciet de noodzaak aan van meer terugkoppeling, maar geven wel allerlei suggesties voor de benodigde data om het liggingsonderhoud op basis van voorspellingen te verbeteren. Naast data van de meettrein worden door respondenten ook data van verwachtingen, uitgevoerd onderhoud, het gebied, de schouw en werkzaamheden door derden als bron genoemd voor predictief liggingsonderhoud. Tabel 5 toont een samenvatting van de benodigde terugkoppeling van de nieuwe databronnen, gerelateerd aan de onderdelen van het gewenste proces (zie Afbeelding 29).

### 3.1 Toekomstige projecten en gebruik van infrastructuur

Respondenten binnen ASSET Rail stellen dat data nodig zijn van de te verwachten werkzaamheden en toekomstige wijzigingen in de intensiteit van het treinverkeer. Dit leidt volgens een respondent tot een verandering in de degradatie van de spoorligging en een wijziging in het aantal onderhoudslocaties. Specialisten van zowel ARCADIS als ASSET Rail kunnen deze data opvragen bij bijvoorbeeld ProRail. Door deze data onderdeel te maken van de analyse met Xeiz RG wordt inzichtelijk welke invloed dit heeft op het tijdstip van de te verwachten aandachtsgebieden en onderhoudslocaties. Deze interventie wordt gewaarborgd, door de projectleider van ARCADIS te laten monitoren op het toevoegen van data in de analyse.



### 3.2 Resultaat meetfouten en afwijkingen

De theoretische overschrijdingen die door de UFM 120 zijn gemeten worden door ProRail geleverd aan ASSET Rail, waarna zij het communiceren naar de specialist van ARCADIS ter analyse op meetfouten en terechte afwijkingen. Door de specialist Xeiz RG de analyseresultaten hiervan direct naar de specialisten van ASSET Rail te communiceren, hoeven zij niet alle overschrijdingen te toetsen in het veld. Deze interventie wordt gewaarborgd, door de projectleider van team Xeiz RG te laten monitoren op het tijdig versturen van het resultaat.

### 3.3 Meldingen

Meldingen bestaan uit RVO's en constatering van schouwers en monteurs en kunnen leiden tot ongepland onderhoud dat invloed heeft op de spoorligging. Meldingen die invloed hebben op de spoorligging worden al gefilterd door de specialist Baan van ASSET Rail. Door deze door te sturen naar een specialist van ARCADIS kunnen zij vervolgens analyseren wat de invloed van deze meldingen is op de voorspellingen van de onderhoudslocaties en aandachtsgebieden. Deze interventie wordt gewaarborgd, door de projectleider van team Xeiz RG te laten monitoren op het tijdig ontvangen van deze meldingen, zodat levering van het onderbouwd advies niet leidt tot vertraging.

### 3.4 OEB

De afdeling Operationeel Eigendomsbeheer (OEB) binnen ASSET Rail behandelt en registreert aanvragen voor werkzaamheden aan het spoor die door derden worden uitgevoerd. Meldingen van werkzaamheden die invloed hebben op de spoorligging worden in het huidige onderhoudsproces naar de specialisten van ASSET Rail gestuurd. Door deze werkzaamheden ook te sturen naar de specialisten van ARCADIS wordt inzichtelijk wat de invloed van werkzaamheden door derden is op het voorspellen van de onderhoudslocaties en het onderbouwen van het advies. Deze interventie wordt gewaarborgd, door de projectleider van team Xeiz RG te laten monitoren op het tijdig ontvangen van deze meldingen door de OEB, zodat de data meegenomen worden in de voorspellingen en het onderbouwd advies.

### 3.5 Werkorders van uitgevoerd (liggings)onderhoud

Ook data van het uitgevoerde onderhoud door ASSET Rail zijn volgens respondenten in beide organisaties van belang om positieve of negatieve trendbreuken in voorspellingen te verklaren. In het huidige onderhoudsproces worden alleen de werkorders van het uitgevoerde liggingsonderhoud doorgestuurd. Naast dit hebben andere uitgevoerde werkzaamheden door ASSET Rail mogelijk ook invloed op de spoorligging. Door de specialist Baan van ASSET Rail alle werkorders in relatie tot de spoorligging door te sturen naar de specialist Xeiz RG wordt inzichtelijk wat de relatie is met de voorspelde spoorligging. Deze interventie wordt gewaarborgd door de specialisten Baan van ASSET Rail, omdat zij de kennis en ervaring hebben om de werkorders te selecteren.

### 3.6 Registratieformulieren

Een andere aanvulling om wijzigingen van de spoorligging te verklaren is het analyseren van registratieformulieren. Binnen ASSET Rail wordt het uitgevoerde liggingsonderhoud geregistreerd, waarna de formulieren in het archief worden bewaard. De formulieren bevatten data over de evaluatie van het uitgevoerde onderhoud en constatering tijdens de uitvoering. Daarnaast bevat het gearchiveerde kettingpapier van de stopmachines data over de nieuwe ligging van het spoor en de objecten met bijbehorende kilometrerings. Objecten in het spoor veroorzaken soms meetfouten. Het beschikbaar maken van deze data voor de specialisten van team Xeiz RG draagt bij aan de verklaring van deze meetfouten, trendbreuken in de voorspelling en de resultaten van de voorgaande adviezen. Mogelijkheden zijn deze formulieren op te vragen bij ASSET Rail of de specialisten van team Xeiz RG zelf het archief te laten raadplegen. Deze interventie wordt gewaarborgd, doordat de specialist Baan van ARCADIS de benodigde data gebruikt voor de validatie en prestatie.

### 3.7 Uitwisseling gebiedskennis

Het uitwisselingsgesprek over gebiedskennis tussen de specialisten Baan & Spoor en Baan van respectievelijk ARCADIS en ASSET Rail wordt in het huidige onderhoudsproces willekeurig gehouden ter verbetering van het te geven advies. Respondenten in beide organisaties geven aan dat de gebiedskennis onderdeel moet blijven van het proces. De kwaliteit van de ondergrond, ballast, dwarsliggers, spoorstaaf, bevestigingsmiddelen en objecten in het spoor zoals overwegen of lijmlassen hebben volgens de respondenten ook invloed op de ligging en vice versa. Volgens een respondent krijg je zo inzichtelijk welke invloed de constructieve kwaliteit heeft op de voorspellingen. Liggingsonderhoud is namelijk een onderdeel van het onderhoud aan het gehele spoorstelsel. De gebiedskennis is volgens respondenten te verkrijgen door schouwers en monteurs, die hele dagen in het gebied rondlopen. Zij zouden ook kunnen aangeven dat een uitschieter in de data van de meettrein wordt veroorzaakt door objecten in het spoor.

Een respondent binnen ARCADIS onderschrijft het belang van gebiedskennis door schouw:

*Ik ben er van overtuigd dat het verstandig is, dat videobeelden van de videoschouwtrein of visuele inspectie handig zijn, omdat je namelijk met al die meetdata verschrikkelijk veel dingen krijgt en ook heel veel dingen krijgt die in eerste instantie niet verklaarbaar zijn.*

Verschillende respondenten van ARCADIS stellen wel gebiedskennis en schouw een tweede analysestap en een aanvulling is op de analyse van de meetdata. Schouw is namelijk lastig te kwantificeren, subjectief en uiteindelijk wordt ASSET Rail door de opdrachtgever afgerekend op de resultaten van de meetdata. Deze interventie wordt gewaarborgd, doordat de projectleider van team Xeiz RG dit gesprek in de activiteitenplanning meeneemt en monitort.

### 3.8 Adviezen

Naast data vanuit ASSET Rail zijn de eerder gegeven adviezen van ARCADIS ook data. De adviezen zullen namelijk vergeleken moeten worden met de overige data voor het valideren en meten van de prestatie van het predictief liggingsonderhoud. Deze interventie wordt gewaarborgd, doordat de specialist Baan van ARCADIS de adviezen uit het verleden als input meeneemt voor het onderbouwd advies in de planning van activiteiten.

## 5.2 INVLOEDSFACTOREN OP DE VERANDERING VAN PREDICTIEF LIGGINGSONDERHOUD

De invloedsfactoren uit paragraaf 4.3 op het huidige proces hebben mogelijk ook invloed op de verandering naar het gewenste onderhoudsproces. Hierna zijn deze invloedsfactoren beschreven volgens de structuur van het conceptueel raamwerk. De methode voor de totstandkoming van deze factoren is beschreven in paragraaf 2.4.

### 5.2.1 MEDEWERKERS

#### *Terugkoppelen van ketenkennis en ervaring van medewerkers*

Ondanks dat medewerkers inhoudelijke kennis hebben van hun activiteiten in het onderhoudsproces, zou de onvoldoende ketenkennis van medewerkers de verandering kunnen belemmeren. Naast het hiervoor genoemde terugkoppelen van data, geven respondenten aan dat communicatie en samenwerking tussen medewerkers in het proces bijdragen aan de kwaliteit van predictief liggingsonderhoud en dat de leercurve voor het verbeteren van dit onderhoud wordt vergroot. Ook leidt het tot een eenduidig en aansluitend onderhoudsproces, waarin medewerkers elkaar leren begrijpen met de bijhorende belangen en bewust worden welke schakel zij als medewerker in het onderhoudsproces vervullen. De overdracht tussen activiteiten in het onderhoudsproces wordt hiermee gewaarborgd en voorkomt gemiste informatie die nodig is voor het uitvoeren van een activiteit, het doen van een voorspelling of het verbeteren van predictief liggingsonderhoud. Omgekeerd kunnen eventuele ideeën of constatering die een positieve of

negatieve invloed hebben op de kwaliteit van een activiteit worden gecommuniceerd naar de medewerkers die hiervoor verantwoordelijk zijn. Toch laten de resultaten van de analyse zien dat niet alle medewerkers zich ervan bewust zijn dat hun kennis en ervaring kan bijdragen tot het uitvoeren van activiteiten door andere medewerkers. Volgens respondenten moet in ieder geval communicatie plaatsvinden tussen medewerkers die raakvlakken hebben met elkaars activiteiten. Dit draagt bij aan het valideren van de voorspellingen ten opzichte van de werkelijke toestand door constatering en gebiedskennis van de hoofdmonteurs of schouwers terug te koppelen met onderbouwing. Het gebruiken van deze persoonlijke invloed op verbetering vraagt om het creëren van drie stappen. Ten eerste moeten de medewerkers het besef en de mentaliteit hebben om constatering of ideeën te delen met andere medewerkers die hier een positieve invloed op kunnen uitoefenen. Een hulpmiddel om elkaars bijdrage te leren kennen is het organiseren van een trans-organisatorische bijeenkomst door het management van zowel ASSET Rail als team Xeiz RG. Dit wordt onderbouwd met het volgende voorbeeld: Tijdens een interview met een medewerker van ARCADIS attendeerde de onderzoeker hem op het bestaan van de OEB bij ASSET Rail. Hij kende dit loket niet, maar ziet de OEB nu als een belangrijke kennisbron om te verklaren wat de invloed van werkzaamheden door derden is op de voorspellingen. Ook een medewerker van de OEB begrijpt de samenwerking met team Xeiz RG en is bereidt relevante projecten door te sturen. De onderzoeker fungeerde hierin als tussenpersoon. Toch hebben beide medewerkers elkaar nog niet gesproken. Ten tweede moeten daarom de medewerkers de mogelijkheid en de middelen hebben ideeën of constatering te delen en te communiceren met andere medewerkers binnen of buiten de organisatie. Hierbij is de voorgenoemde bijeenkomst een eerste mogelijkheid. De vervolgmogelijkheden na deze bijeenkomst zijn directe communicatie met de betreffende medewerkers of indirecte communicatie via bijvoorbeeld de specialist naar de andere organisatie. Een andere mogelijkheid is om het principe van de schouwers met Advanced Mobile toe te passen. De schouwers communiceren namelijk via Advanced Mobile de constatering naar het centrale onderhoudsmanagementsysteem. De specialist die verantwoordelijk is voor deze constatering krijgt hiervan een melding en kan de details opvragen in het onderhoudsmanagementsysteem. Ten derde moeten degenen die de ideeën of de constatering gemeld krijgen de mogelijkheid hebben (i.e. tijd, middelen) om de verbetering te kunnen uitvoeren. De cirkel van Plan-Do-Check-Act (PDCA) die sommige medewerkers binnen ARCADIS en ASSET Rail noemen, kan deels aan deze interventie worden gerelateerd. Hiermee wordt echter niet de eerste stap gewaarborgd. Medewerkers moeten constatering namelijk ook opmerken. Het toevoegen van Observatie (i.e. OPDCA) aan deze cirkel (ASQ Toronto, 2013) moet bijdragen aan het creëren van terugkoppeling vanuit persoonsniveau. De verderop genoemde scholing kan positief bijdragen aan het observeren van de constatering, door de medewerkers hiervan bewust te maken.

### ***Mentaliteit van medewerkers***

De resultaten van het huidige proces laten zien dat de mentaliteit van medewerkers nog niet volledig proactief is, maar deels reactief. De respondenten erkennen dat een verandering van een reactieve naar proactieve mentaliteit tijd nodig heeft. Daarvoor moeten medewerkers eerst besef en vertrouwen hebben in het gebruik van predictief liggingsonderhoud en hun bijdrage in het onderhoudsproces, alvorens zij het nut van het proactief handelen inzien. Scholing, zoals hierna is beschreven en de hiervoor genoemde trans-organisatorische bijeenkomst beïnvloeden de mentaliteit van medewerkers. In de bijeenkomst uit het management de voordelen van vooruit denken en het helpen van elkaar door ideeën te delen. Dit geeft medewerkers ook meteen de gelegenheid hun ideeën te uiten in de bijeenkomst, die bijdragen aan de gestelde doelen (zie paragraaf 5.2.2). Verwacht wordt dat medewerkers hierdoor het gevoel krijgen dat hun inbreng wordt gewaardeerd en met meer inbreng komen (zie champion behaviour), als het management hierna actief op terugkoppelt.

### *Scholing en training als ondersteuning*

Scholing en training is een middel om bij te dragen aan het creëren van een proactieve mentaliteit, het vergroten van de (keten)kennis, maar moet er ook toe leiden dat medewerkers met de benodigde middelen in het onderhoudsproces kunnen werken. Respondenten vinden scholing vooral belangrijk om de mentaliteit van medewerkers te veranderen. De mogelijke verklaring hiervoor is dat medewerkers zo de voordelen, mogelijkheden en de nieuwe manier van werken van predictief liggingsonderhoud begrijpen en gaan gebruiken. Naast dat dit voor monteurs en inhuurpersoneel een cultuuromslag kan zijn, vraagt het inplannen en uitvoeren van predictief liggingsonderhoud ook een andere manier van denken. Training lijkt ook nodig te zijn voor de softwaretools voor predictief liggingsonderhoud (zie paragraaf 4.3.3) en zouden door meerdere medewerkers gebruikt moeten worden. Dit middel kan op verschillende manieren worden toegepast, door bijvoorbeeld intern met een meester-gezelconstructie of scholing door een externe partij. De proactieve mentaliteit en kennis en ervaring van bepaalde software of methodieken is al bij bepaalde medewerkers aanwezig is en geeft de mogelijkheid dit intern door te geven naar andere medewerkers binnen het trans-organisatorische onderhoudsproces.

### *Champion behaviour*

Het creëren van een sluitend onderhoudsproces en proactieve mentaliteit kan positief worden beïnvloed door het aanwezige *champion behaviour* bij bepaalde medewerkers. Dit zal wel gestuurd moeten worden door het management (zie paragraaf 5.2.2) zodat het gedrag aansluit bij de gestelde doelen. Met een expliciet doel wordt ook voorkomen dat medewerkers inspanningen vertonen die niet leiden tot het bereiken van de beoogde verandering, met als gevolg onnodige vertragingen en teleurstellingen van medewerkers.

## 5.2.2 ORGANISATIE

### *Continue verbeteren*

Het continue verbeteren van het onderhoudsproces wordt deels bewerkstelligd door het gewenste proces, zoals ontworpen is in paragraaf 5.1. Respondenten stellen ook dat continue verbeteren meer omvat dan het proces. Snellere korte termijn analyses door Xeiz RG, het analyseren van meer parameters, het kunnen bepalen van bovenbouwvernieuwing, de invloed van projecten en een verbeterslag in de clustering van het liggingsonderhoud zijn allemaal verbetervoorstellen die door respondenten worden genoemd. Door één respondent van ARCADIS wordt echter gesteld dat niet breder ontwikkeld moet worden, maar juist moet worden doorontwikkeld, zodat de kwaliteit van het huidige proces en de activiteiten wordt vergroot. Het continue verbeteren met als onderdeel de verbetervoorstellen van medewerkers moet dus bijdragen aan het te bereiken doel. Het gericht verbeteren wordt positief beïnvloed door na te gaan of alle huidige activiteiten en verbetervoorstellen wel bijdragen aan het gestelde doel of dat bepaalde ontwikkelingen uitgesteld moeten worden.

### *Functie van het management*

Om het huidige proces van liggingsonderhoud (continue) te verbeteren en *champion behaviour* te beheersen moet het management doelen stellen, deze stimuleren, monitoren, middelen verschaffen en tot op zekere hoogte betrokken zijn bij medewerkers. Door doelstellingen worden medewerkers gestuurd predictief liggingsonderhoud te gaan toepassen. De huidige visie die aanwezig is (zie paragraaf 4.3.2) stimuleert het actief bereiken van het doel, waarin het vooruit kijken wordt uitgedragen aan onder andere de medewerkers van ASSET Rail. Toch is een visie en doelstelling volgens respondenten niet voldoende om het doel te bereiken. Het management moet ook betrokken zijn en in hoofdlijnen kennis hebben van de functie van medewerkers en welke knelpunten zij ervaren. Door het management ook actief te laten monitoren wordt inzichtelijk gemaakt in hoeverre naar het doel wordt toegewerkt en of de prestaties volgens de verwachtingen zijn. Indien afgeweken wordt van het doel of verstrekte middelen niet juist of in

onvoldoende mate worden gebruikt, moet het management ingrijpen zodat het gehele onderhoudsproces onder controle blijft. Daarbij kan het verschaffen van middelen door het management bijdrage aan het bereiken van het doel. Naast het leveren van voldoende mensen, tijd en budget voor het uitvoeren van predictief liggingsonderhoud, geven respondenten ook aan dat medewerkers de mogelijkheid moet worden gegeven dat hun wensen worden vervuld.

### Duidelijke Verwachtingen en Doelstelling

Uit de door citaten onderbouwde activiteit *validatie* blijkt dat beide organisaties niet duidelijk elkaars verwachtingen inzichtelijk hebben, maar vragen wel om dit inzicht (zie Afbeelding 32). Onduidelijkheid over elkaars verwachtingen belemmert het formuleren van een gezamenlijk doel voor de verbetering van het proces van predictief liggingsonderhoud. Doordat beide organisaties onderdeel zijn van het proces wordt gesteld dat de doelstelling door het management van beide organisaties moeten worden geformuleerd. Door kennis te hebben van elkaars verwachtingen en indien nodig aanpassing van het doel verschuift het lerend cyclisch proces ook van single-loop learning, naar het zogenaamde *double-loop learning*, waarin het gestelde doel na elke cyclus wordt geëvalueerd en indien nodig aangepast. Na formulering van het doel zouden alle betrokken medewerkers hiervan op de hoogte gesteld moeten worden. Het doel wordt namelijk samen met de medewerkers bereikt. Hiermee wordt ook de eerste stap gezet naar de kennis van elkaars bijdrage aan het predictief liggingsonderhoud en weten ze naar wie ze eventuele constatering kunnen terugkoppelen om het onderhoud te verbeteren. Aanbevolen wordt de eerder genoemde trans-organisatorische bijeenkomst te houden, als hulpmiddel voor het communiceren van de doelstelling onder de medewerkers. De medewerkers per organisatie benaderen is een alternatief, maar verwacht wordt dat dit niet de trans-organisatorische terugkoppeling van medewerkers stimuleert, doordat zij dan geen kennis hebben van de medewerkers in andere teams.



Afbeelding 32 Het stellen van een gezamenlijk doel door kennis te hebben van elkaars verwachtingen

### 5.2.3 TECHNIEK

#### Onderhoudsmanagement- en beslissingsondersteunende systemen als onderdeel

De systemen die nu gebruikt worden voor de voorspellingen en de voorbereiding van de uitvoering hebben een centrale rol in het onderhoudsproces. Binnen het deelproces van ARCADIS is Xeiz RG een essentieel onderdeel voor het advies. Xeiz RG verwerkt namelijk de grote hoeveelheid data van de meettrein. Toch blijkt uit het empirisch onderzoek dat deze systemen een onderdeel zijn binnen het gehele onderhoudsproces en dat deze ook zo gezien moeten worden in het proces. De kennis en ervaring van medewerkers en de activiteiten die zij uitvoeren in het kader van liggingsonderhoud zijn namelijk ook van invloed. Het aandeel van bijvoorbeeld het beslissingsondersteunende systeem Xeiz RG als toevoeging moet gereflecteerd worden met het doel en beoogde resultaat van het onderhoudsproces. Deze reflectie kan gedaan worden door vragen te stellen als: Wat is de bijdrage van het systeem aan het doel? Wat zijn de beperkingen van het systeem dat door andere technieken of niet-technische onderdelen moet worden opgevangen om het resultaat en doel te bereiken? Welke belemmeringen veroorzaakt de toepassing van het systeem binnen het bereiken van het doel en resultaten? Door deze vragen te stellen wordt inzichtelijk wat de techniek wel en niet bijdraagt aan de verbetering van het onderhoudsproces.

### 5.2.4 SPOORBRANCHE EN OMGEVING

#### *Ongepland onderhoud beheersen*

De verandering naar het gewenste proces van predictief liggingsonderhoud maakt inzichtelijk welke invloed de ongeplande werkzaamheden door brandjes hadden op de voorspellingen van het liggingsonderhoud. De brandjes zullen ook tijdens het gewenste proces blijven ontstaan, waarop reactief gehandeld moet blijven worden. Door inzicht te houden wat de invloed van het ongeplande onderhoud is op de spoorligging, worden verkeerde interpretaties van degradatie voorkomen. Toch heeft ASSET Rail de wens van een storings- naar een monitoringsorganisatie te willen veranderen. Een oplossing volgens een respondent binnen ASSET Rail is de toepassing van een aparte groep voor ongepland onderhoud, dat onafhankelijk opereert en dus niet het geplande (predictief) liggingsonderhoud beïnvloedt. Dit betekent wel dat de (financiële) middelen hiervoor aanwezig moeten zijn of beschikbaar worden gesteld door het management van ASSET Rail.

#### *Stakeholder afhankelijkheid en relatie*

De relatie met en afhankelijkheid van stakeholders kan zowel een positieve als negatieve invloed hebben op het veranderen en uitvoeren van het gewenste proces. Het proces van predictief liggingsonderhoud is afhankelijk van de gemonitorde spoorligging, dat door een externe partij wordt uitgevoerd. Zoals een respondent binnen ARCADIS dit verwoord: *“Garbage in, is garbage out.”* Wanneer de kwaliteit van de data onvoldoende is heeft dit negatieve invloed op het gericht voorspellen van liggingsonderhoud. Door de ontvangen data van externe partijen te blijven controleren op kwaliteit of te communiceren met de betreffende ketenpartners die deze data verzamelen en leveren, wordt verwacht dat (zoals binnen het trans-organisatorisch onderhoudsproces van ARCADIS en ASSET Rail) de uitgewisselde ideeën en constatering bijdragen aan de verbetering van de datakwaliteit en uiteindelijk het onderhoudsproces. Betreffende de relatie met de opdrachtgever stellen respondenten dat deze *transparant* en *open* is. Dit lijkt ook wederzijds te zijn doordat tijdens gesprekken met willekeurige medewerkers van de opdrachtgever bleek dat zij ASSET Rail transparant en meedenkend vinden. Verwacht wordt dat het monitoren van deze relatie, door dit bijvoorbeeld periodiek en informeel te evalueren met de opdrachtgever, de relatie op hetzelfde kwaliteitsniveau blijft of beter wordt en daarnaast onderlinge spanningen worden voorkomen.

## 5.3 VALIDATIE EN CONCLUSIE

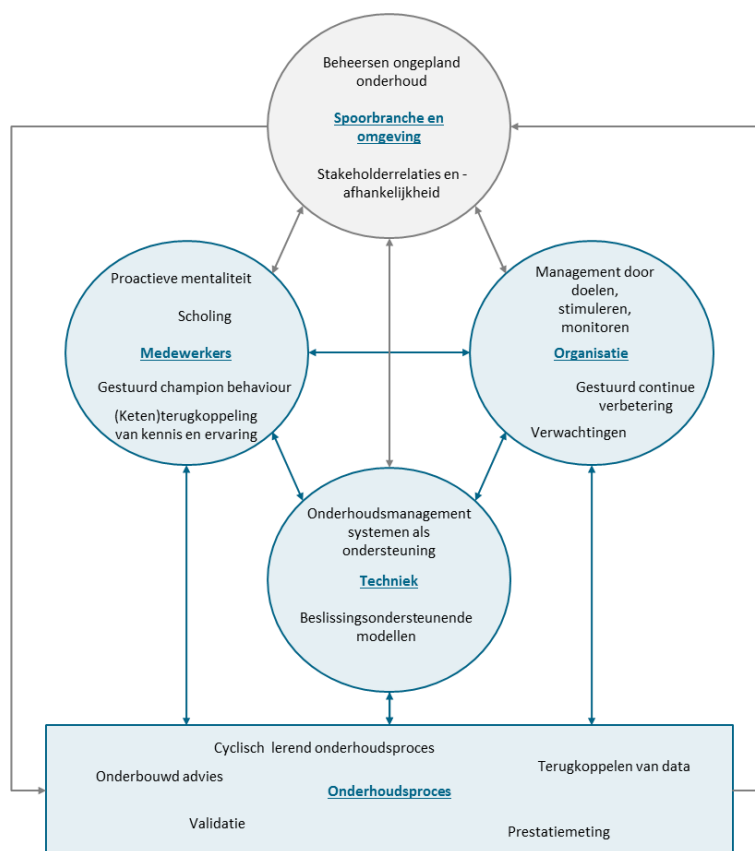
#### *Validatie*

Het veranderplan is gevalideerd om te toetsen in hoeverre het ontwerp van het veranderplan overeenkomt met het gewenste proces en haalbaar is. De methode van validatie is beschreven in paragraaf 2.4. De validatie toont aan dat alle respondenten uit de interviews het in hoofdlijnen eens zijn met het beschreven veranderplan en dat dit duidelijk omschreven is. Het gewenste onderhoudsproces is volgens de respondenten een verbetering op het huidige proces, doordat hierin de ontbrekende terugkoppeling en samenwerking tussen ARCADIS en ASSET Rail wordt getoond ter verbetering van het predictief liggingsonderhoud. Ook zijn de respondenten het in hoofdlijnen eens met de gewijzigde en toegevoegde activiteiten interventies. Door het management van ARCADIS en ASSET Rail werd wel een opmerking gemaakt over welke partij wat gaat uitvoeren, waarom en voor wie dit extra inspanningen kost. In Tabel 5 is verduidelijkt welke en waarom de betreffende partij de activiteit zou moeten uitvoeren. Het bepalen van de extra inspanning is in het kader van de gestelde onderzoeksperiode niet onderzocht. Tot slot stelt een respondent dat het verbeterplan in theorie duidelijk en logisch is, maar is de vraag in hoeverre dit in de praktijk kan worden gerealiseerd en geaccepteerd wordt door medewerkers. Deze vraag is beantwoord door het beschrijven van de factoren die invloed hebben op de verandering (zie paragraaf 5.2 en Afbeelding 33).



## Conclusie

De conclusie betreffende het veranderplan is te visualiseren met Afbeelding 33. Het onderhoudsproces beschrijft de toegevoegde en gewijzigde activiteiten voor het gewenste proces ten opzichte van het huidige proces van predictief liggingsonderhoud (§5.1). De factoren die een positieve of negatieve invloed hebben op de verandering naar het gewenste onderhoudsproces zijn beschreven binnen de categorieën Medewerkers (§5.2.1), Organisatie (§5.2.2) Techniek (§5.2.3) en Spoorbranche en omgeving (§5.2.4). Binnen deze categorieën is sturing door het formuleren van doelen een belangrijke invloedsfactor die richting geeft aan de verandering en onder andere een positieve de invloed heeft op de factoren binnen de categorie Medewerkers.



Afbeelding 33 Invloedsfactoren op de verandering naar een cyclisch lerend proces van predictief liggingsonderhoud



# 6

## Conclusie en Discussie

### 6.1 CONCLUSIE

Het onderzoek is uitgevoerd naar aanleiding van het onderstaande probleem:

**Het huidige proces van liggingsonderhoud binnen ASSET Rail sluit niet aan bij de strategie van ASSET Rail om predictief liggingsonderhoud te implementeren ter instandhouding van de spoorligging binnen de gestelde prestatienorm.**

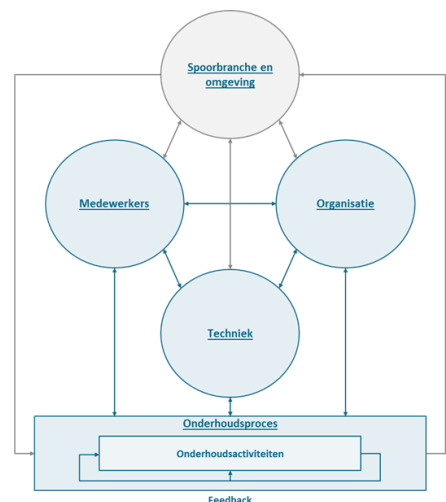
De bijdrage aan het beheersen van de spoorligging met gericht predictief liggingsonderhoud binnen ARCADIS en ASSET Rail is in de onderstaande doelstelling geformuleerd. Geconcludeerd wordt dat op basis van empirisch onderzoek binnen ARCADIS en ASSET Rail deze doelstelling is behaald.

**Het doel *in* het onderzoek is het verklaren welke factoren de implementatie van volledig predictief liggingsonderhoud binnen ARCADIS en ASSET Rail beïnvloeden en hoe deze factoren beïnvloed kunnen worden, ter bevordering van de implementatie.**

Het behalen van de doelstelling wordt toegelicht door achtereenvolgens in deze paragraaf met de resultaten uit hoofdstuk 3, 4 en 5 de drie onderzoeksvragen te beantwoorden.

- 1 Wat is nodig om predictief liggingsonderhoud te implementeren in een organisatie?**
  - a. Wat zijn belangrijke kenmerken van liggingsonderhoud ter instandhouding van de spoorligging binnen de gestelde prestatienorm?
  - b. Wat zijn belangrijke kenmerken van predictief onderhoud?
  - c. Wat zijn belangrijke kenmerken van een succesvolle implementatie in organisaties?

Het implementeren van predictief liggingsonderhoud vraagt om een wisselwerking tussen vijf categorieën (zie Afbeelding 34). Deze categorieën met daarin de te verwachten invloedsfactoren omvatten het onderhoudsproces zelf, de organisatie om dit onderhoudsproces te sturen, de medewerkers die de activiteiten in het onderhoudsproces uitvoeren, de technologische hulpmiddelen hiervoor en de omgeving waarin het liggingsonderhoud wordt voorspeld en uitgevoerd. Als in het onderhoudsproces niet rekening wordt gehouden met één of meerdere categorieën, dan leidt dit niet tot het gericht voorspellen en uitvoeren van liggingsonderhoud. De categorieën hebben allemaal invloed op het onderhoudsproces en elkaar. Liggingsonderhoud omvat de activiteiten monitoring, analyse en uitvoering om de degraderende hoogte en schift van de



Afbeelding 34 Interactie tussen vijf categorieën ter ondersteuning van het proces van predictief onderhoud

spoorgeometrie te herstellen naar de vereiste voorgeschreven prestatienorm. Predictief liggingsonderhoud is het voorspellen (analyse) van de benodigde uitvoering van onderhoud aan de spoorgeometrie in de toekomst, gebaseerd op gemeten parameters en toestanden (monitoring) van de spoorgeometrie uit het verleden en het heden.

**2 Waarom sluit het huidige proces van liggingsonderhoud binnen ASSET Rail niet aan bij de strategie van ASSET Rail om predictief liggingsonderhoud te implementeren, ter instandhouding van de spoorligging binnen de prestatienorm?**

Het huidige proces van liggingsonderhoud wordt uitgevoerd als een lineair onderhoudsproject. Door onvolledige terugkoppeling van de beschikbare en noodzakelijke objectieve en subjectieve data is het niet mogelijk de geleverde adviezen en het uitgevoerde liggingsonderhoud te valideren en inzicht te krijgen in de resultaten van het predictief liggingsonderhoud (zie Afbeelding 28). Hierdoor kan niet gericht worden gestuurd op de continue verbetering van het predictief liggingsonderhoud, met als doel alleen het noodzakelijke liggingsonderhoud uit te voeren. Daarnaast wordt het predictief liggingsonderhoud beïnvloed door stakeholders en zogenaamde brandjes in het spoor. De brandjes leiden tot ongepland onderhoud en zijn urgenter dan predictief liggingsonderhoud. Hierdoor kunnen voorspelde locaties niet altijd uitgevoerd worden of kloppen niet meer door onbekende wijzigingen in de spoorinfrastructuur. Terugkoppeling tussen medewerkers, in de vorm van kennisdeling in de keten tussen de medewerkers is belangrijk voor het bereiken van het doel van gericht predictief liggingsonderhoud, maar is nog onvoldoende. Het delen van kennis en ervaring die proactieve medewerkers hebben ter verbetering van hun eigen werkzaamheden en dat van andere in het onderhoudsproces gaat soms moeizaam, omdat andere medewerkers soms nog een reactieve mentaliteit hebben. Champion behaviour door medewerkers stimuleert de verbetering, maar leidt nu tot ongecontroleerde verbetering. De duidelijke visie die het management heeft is onvoldoende om te sturen naar de beoogde verbetering. De middelen scholing en technieken zoals onderhoudsmanagement-systemen, beslissingsondersteunende modellen ondersteunen het onderhoudsproces door het sneller, gecontroleerder uitvoeren en verbeteren van het predictief liggingsonderhoud.

**3 Hoe moet het huidige liggingsonderhoud binnen ASSET Rail veranderen om volledig predictief liggingsonderhoud te verbeteren?**

Ten opzichte van het huidige lineaire onderhoudsproces is het gewenste proces van predictief liggingsonderhoud een cyclisch lerend onderhoudsproces. Dit lerend cyclisch onderhoudsproces wordt bereikt door het leveren van een onderbouwd advies. Dit onderbouwd advies bestaat naast het huidige advies van voorspelde onderhoudslocaties nu ook uit een validatie en overzicht van de (financiële) prestatie van de voorspellingen en uitgevoerd onderhoud van de vorige cycli. Hiervoor is wel meer terugkoppeling van data nodig vanuit ASSET Rail naar ARCADIS. Deze data omvatten constatering van de omgeving van de spoorinfrastructuur die invloed hebben op de spoorligging, meer en gedetailleerdere data van het uitgevoerde liggingsonderhoud en (trans-organisatorische) terugkoppeling van ideeën of constatering tussen medewerkers voor de verbetering van predictief liggingsonderhoud. De invloed op het cyclisch lerend proces en het sturen hierop is ten eerste het kennen van elkaars verwachtingen op trans-organisatorisch niveau met daaruit een gezamenlijk geformuleerde doelstelling voor verbetering (zie Afbeelding 33). Vervolgens zal het management van beide organisaties het doel moeten monitoren en stimuleren onder medewerkers door bijvoorbeeld het verschaffen van middelen. Eén van deze middelen zijn de onderhoudsmanagement- en beslissingsondersteunende systemen. Door het stimuleren en monitoren heeft het management naast de verbetering van het proces, ook invloed op het bereiken van

gestuurd champion behaviour, een proactieve mentaliteit bij medewerkers en kennisuitwisseling. Deze hebben vervolgens weer positieve invloed op het bereiken van een cyclisch lerend onderhoudsproces. De invloed en afhankelijkheid van stakeholders buiten het trans-organisatorisch onderhoudsproces wordt beheerst door ook met de opdrachtgever en dataleveranciers ideeën en constatering te communiceren. De negatieve invloed van het ongepland onderhoud op het onderhoudsproces is op dit moment moeilijk te beheersen. Het inzichtelijk houden van dit aandeel naast het geplande predictief liggingsonderhoud zal bijdragen aan het voorkomen van verkeerde interpretaties van de voorspelde degradatie.

## 6.2 DISCUSSIE

### *Reflectie op wetenschappelijke en praktische relevantie*

Reflecterend op de wetenschappelijke relevantie in paragraaf 1.3.3 toont dit onderzoek aan dat de omgeving een relatief grotere invloed heeft op het toepassen van predictief onderhoud in de spoorbranche ten opzichte van bijvoorbeeld de (werktuigbouwkundig gerelateerde) productie industrie. Waarin bij onderhoud in de industrie (bijv. Bengtsson, 2007) het rekening houden met de invloed van de organisatie, medewerkers en techniek voldoende is, heeft bij de spoorinfrastructuur de omgeving ook invloed op het onderhoud. Het onderhoud wordt namelijk gepleegd in een omgeving met verschillende gebruikers en stakeholders die invloed hebben op de conditie van de spoorinfrastructuur, naast de eigen onderhoudsorganisatie. Reflecterend op het raamwerk (zie Afbeelding 28) is het verschil te visualiseren door deze te vergelijken met Afbeelding 21, dat alleen gericht is op de onderhoudsorganisatie.

Behalve de invloed van de omgeving als belangrijk kenmerk van onderhoud aan de spoorinfrastructuur, toont dit onderzoek ook aan dat binnen het spooronderhoud alleen techniek niet leidt tot gericht onderhoud. Rond de millenniumwisseling lag de focus van onderzoeken (bijv. Dourlein, 2004) vooral op de techniek zoals beslissingsondersteunende systemen. De resultaten van dit onderzoek tonen aan dat breder gekeken moet worden dan alleen deze technische systemen om gericht liggingsonderhoud uit te voeren. Dit werd al in 2001 door Esveld (zie Afbeelding 10) benoemd, maar ook in zijn onderzoek lag de focus op de techniek.

De wetenschappelijke relevantie wordt versterkt doordat het onderzoeksobject twee organisaties omvat, het trans-organisatorische onderhoudsproces. In de geraadpleegde literatuur wordt één type onderhoud uitgevoerd door één onderhoudsorganisatie (zie hoofdstuk 3). De resultaten van dit onderzoek geven inzicht in het onderhoudsproces, dat samen wordt uitgevoerd door twee onafhankelijke organisaties. Het onderhoud dat uitgevoerd wordt door twee organisaties laat zien dat samenwerking en de communicatie tussen medewerkers essentieel is voor gericht liggingsonderhoud.

Reflecterend op de praktische relevantie van het onderzoek draagt de verbetering van het predictief liggingsonderhoud van ASSET Rail bij aan een grotere beschikbaarheid van de spoorinfrastructuur, door de toepassing van gericht onderhoud. Gericht liggingsonderhoud leidt tot een exacter moment en exactere locatie van prestatienormoverschrijding, met minimale inzetten van stopmachines en kosten. De verminderde inzet van stopmachines leidt tot een hogere beschikbaarheid van de spoorinfrastructuur of meer doeltreffend liggingsonderhoud in de beschikbare buitendienststellingen. De kennis uit dit onderzoek draagt ook bij aan de verbetering van liggingsonderhoud bij andere spooraanneemers, die ook het liggingsonderhoud op basis van prestatiegerichte onderhoudscontracten uitvoeren of gaan uitvoeren.

### *Beperkingen*

Het doel van de enquête om op basis van een statistische analyse een select aantal te verwachten invloedsfactoren binnen de interviews te behandelen was niet mogelijk. De data voor statistische analyse zijn onbetrouwbaar, omdat respondenten niet alle termen in de vragen begrepen en het invullen van de

enquête te lang duurde voor sommige respondenten. Dit leidde tot een verminderde methodetriangulatie om belangrijke invloedfactoren te bepalen. Een proef-enquête of controle door personen die expertise hebben met enquêtes, maar geen kennis hebben van het spoor zorgen voor stellingen die beter te begrijpen zijn met als gevolg meer bruikbare data.

Het interviewen van respondenten met elk een andere functie in het proces resulteerde in een totaalbeeld van het gehele onderhoudsproces. De functie (hoofd)monteur wordt door meerdere medewerkers vervuld waardoor het interviewen van één monteur niet representatief is. Methodetriangulatie is gebruikt om de betrouwbaarheid te vergroten, door het gebruik van de open antwoorden die ook door andere monteurs in de enquête zijn ingevuld.

Het conceptueel raamwerk met de te verwachten factoren is ontwikkeld met behulp van literatuur en gesprekken met deskundigen (zie hoofdstuk 3). Het resultaat is een onderzoeksperspectief voor het empirisch onderzoek binnen ARCADIS en ASSET Rail. De kanttekening hierbij is dat bestudering van andere literatuur en gesprekken met andere deskundigen kan leiden tot een onderzoeksperspectief met andere te verwachten invloedsfactoren, maar kan ook leiden tot een uitbreiding of versterking van het conceptueel raamwerk.

Voor het ontwerp van het veranderplan zijn de data van het empirisch onderzoek, terugkoppeling van respondenten en beperkte literatuur gebruikt (zie paragraaf 2.4). Om de geplande periode van onderzoek te beheersen, is niet gebruik gemaakt van gesprekken met deskundigen op het gebied van veranderplannen, welke aanvankelijk gepland waren in het onderzoeksontwerp. Ook zijn de aanvankelijk gestelde deelvragen voor het veranderplan niet gebruikt om de onderzoeksvraag te beantwoorden. Hierdoor is met een beperkt perspectief het veranderplan ontworpen, waardoor het veranderplan in de praktijk mogelijk onvoldoende leidt tot de gewenste verbetering. Aanbevolen wordt voor en tijdens de verandering eerst advies te vragen aan collega's binnen ARCADIS die kennis en ervaring hebben in change management. In vergelijking met extern advies wordt namelijk verwacht dat het benutten van kennis binnen de organisatie sneller en tegen minder kosten is te verkrijgen.

Ondanks dat het onderzoek is afgebakend op het (trans)-organisatorisch onderhoudsproces binnen ARCADIS en ASSET Rail, blijft de omgeving een sterke invloed hebben op het proces van predictief liggingsonderhoud (zie Afbeelding 7 en paragraaf 4.3.4). Deels kan deze omgeving worden beheerst doordat ASSET Rail data ontvangt van andere partijen of dit zelf constateert. Het oplossen van het probleem, het beheersen van de spoorligging door voorspellingen, is dus deels op te lossen binnen het onderhoudsproces van ARCADIS en ASSET Rail.

Uit de gesprekken met respondenten en onderbouwd door Dourlein (2004), Zoeteman, (2004) en Steenbergen (persoonlijke communicatie), blijkt dat de kwaliteit van de spoorgeometrie ook afhankelijk is van de constructieve kwaliteit van de spoorinfrastructuur en vice versa (zie bijv. Afbeelding 7). Het onderzoek naar de beheersing van de spoorgeometrie is gericht op het liggingsonderhoud, terwijl andere soorten onderhoud aan de onder- en bovenbouw van de spoorinfrastructuur ook invloed hebben op de kwaliteit van de spoorgeometrie. Verwacht wordt dat het beheersen van de kwaliteit van de spoorgeometrie vraagt om een holistische systeemaanpak, waarin de beheersing van de spoorgeometrie een onderdeel is.

### 6.3 VERVOLGONDERZOEK

De voorgenoemde beperkingen geven aanleiding tot vervolgonderzoek. Het vervolgonderzoek is onder andere te relateren aan het behalen van de externe doelstelling, namelijk het beheersen van de spoorligging met gericht predictief liggingsonderhoud.

Het huidige onderzoek is uitgevoerd op trans-organisatorisch niveau. De aanbeveling is het proces van liggingsonderhoud ook op branche-niveau of bij andere partijen in de spoorbranche te onderzoeken. Deze partijen zijn bijvoorbeeld andere PCA's om de externe validiteit van dit onderzoek te toetsen, maar ook organisaties die bijvoorbeeld de kwantitatieve monitoring voor het liggingsonderhoud uitvoeren. Het beheersen van de spoorgeometrie is namelijk een (keten)samenwerking van allerlei partijen in een dynamische omgeving.

Naast de spoorgeometrie heeft ander spoor gerelateerd onderhoud, zoals de instandhouding van de constructieve kwaliteit (bijv. dwarsliggers of ballast) ook invloed op de kwaliteit van de spoorgeometrie en vice versa (Dourlein, 2004; Zoeteman, 2004; Steenbergen, persoonlijke communicatie). Daarom wordt in lijn met Dourlein (2004), vervolgonderzoek aanbevolen naar de interactie tussen deze twee onderdelen van het spoorstelsel. Een vervolgstap is de interactie tussen deze elementen met de gehele instandhouding van spoorstelsel en de invloed hierop voor het beheersen van de spoorgeometrie.

Aanbevolen wordt pas vervolgonderzoek te doen naar de toepassing van predictief onderhoud op andere elementen van het spoorstelsel (bijv. de rijdraad van de bovenleiding), als het predictief onderhoud aan de spoorligging en de invloeden op dit onderhoudsproces beheersbaar zijn. Dit voorkomt dat onbekende factoren, die ook generiek zijn voor andere soorten onderhoud, het resultaat van predictief liggingsonderhoud negatief beïnvloeden.

Verwacht wordt dat kennis over de gehele spoorinfrastructuur als systeem uiteindelijk bijdraagt aan de externe doelstelling van dit onderzoek om de spoorligging te beheersen met gericht predictief liggingsonderhoud. De toepassing van deze kennis binnen ARCADIS laat Xeiz RG en het bijbehorende advies beter aansluiten op de uitvoering van het liggingsonderhoud van spoor-aannemers. ASSET Rail kan hiermee gericht predictief liggingsonderhoud uitvoeren tegen minder kosten. ProRail als opdrachtgever krijgt hierdoor beter inzicht in het te verwachten onderhoud. Daarnaast draagt gericht onderhoud bij aan de topdoelstelling van ProRail om de beschikbaarheid van de spoorinfrastructuur te verhogen, waarvan uiteindelijk ook de treinreizigers profiteren.

# 7

## Bronvermelding

### Literatuur

- Arasteh Khoy, I. (2013). *Cost-Effective Maintenance of Railway Track Geometry* (Dissertatie, Luleå University of Technology, Zweden). Verkregen van [http://pure.ltu.se/portal/files/43787912/Iman\\_Arasteh\\_Khoy.pdf](http://pure.ltu.se/portal/files/43787912/Iman_Arasteh_Khoy.pdf)
- American Society of Quality Toronto (2013). *Quality Tools: Plan Do Check Act*. Verkregen van <http://asqtoronto.org/wp-content/uploads/2013/10/PDCA.pdf>
- Bengtsson, M. (2004). *Condition Based Maintenance Systems- An Investigation of Technical Constituents and Organizational Aspects* (Licentiaat Thesis, Mälardalen University, Zweden).
- Bengtsson, M. (2007). *On Condition Based Maintenance and its Implementation in Industrial Settings* (Dissertatie, Mälardalen University, Zweden).
- Bengtsson, M. (2008). Supporting Implementation of Condition Based Maintenance: Highlighting the interplay between technical constituents and human and organizational factors. *International Journal of Technology and Human Interaction*, 4, 48-74. doi:10.4018/jthi.2008010104
- Berselaar, V. & Hoeksema, K.J. (1998). *Discursieve Vaardigheden*. Bussum, Nederland: Coutinho.
- Boeije, H. (2010). *Analysis in qualitative research*. London, England: Sage.
- Carretero, J., Pérez, J.M., García-Carballeira, F., Calderón, A., Fernández, J., García, J.D., Lozano, A., Cardona, L., Cotaina, N. & Prete, P. (2003). Applying RCM in large scale systems: a case study with railway networks. *Reliability Engineering and System Safety*, 82, 257-273. doi:10.1016/S0951-8320(03)00167-4
- Dongen van, L. A. M. (2011). *Maintenance Engineering: Instandhouding van verbindingen*. Verkregen van [http://doc.utwente.nl/79881/1/oratieboekje\\_L\\_van\\_Dongen.pdf](http://doc.utwente.nl/79881/1/oratieboekje_L_van_Dongen.pdf)
- Dourlein, P. W. (2004). *Ecotrack, een breder perspectief: Beslissingsondersteuning voor instandhouding van rail infrastructuur vanuit prestatieoogpunt* (Master thesis, Universiteit Twente, Nederland).
- Espling, U. (2007). *Maintenance Strategy for a Railway Infrastructure in a Regulated Environment* (Dissertatie, Luleå University of Technology, Zweden).
- Esveld, C. (2001) *Modern Railway Track* (2<sup>nd</sup> ed.). Zaltbommel, Nederland: MRT Productions.

- Hayes, J. (2010). *The Theory and Practice of Change Management* (3<sup>th</sup> ed.) Hampshire, Verenigd Koninkrijk: Palgrave Macmillan.
- International Atomic Energy Agency [IAEA] (2007). *Implementation Strategies and Tools for Condition Based Maintenance at Nuclear Power Plants* (Rapportnr. IAEA-TECDOC-1551).
- Jardine, A. K. S., & Tsang, A. H. C. (2013). *Maintenance, replacement, and reliability: Theory and applications* (2<sup>nd</sup> ed.) New York, NY: Taylor & Francis Group.
- Keizara, J. A., Halman, J. I. M., & Song, M. (2002). From experience: Applying the risk diagnosing methodology. *Journal of Product Innovation Management*, 19, 213-232. doi:10.1111/1540-5885.1930213
- Kennisinstituut voor Mobiliteit (2013). *De maatschappelijke waarde van kortere en betrouwbaardere reistijden*
- Kuipers, L. (2006). *Railbouwtechniek*. Alkmaar, Nederland: G.C.T.
- Kumar, U., Galar, D., Parida, A., Stenström, C., & Berges, L. (2013). Maintenance performance metrics: a state-of-the-art review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 19, 233-277. doi:10.1108/JQME-05-2013-0029
- Leedy, P. D., & Ormrod, J. E. (2010). *Practical research: Planning and design* (10<sup>th</sup>ed.). New Jersey, NJ: Pearson.
- Lichtberger, B. (2007) The Track System and Its Maintenance. *Railway Technical Review*, 47, 15-22. ISBN 978-7771-0367-9
- Molodova, M., Li, Z. & Dollevoet, R. (2010). Axle box acceleration: Measurement and simulation for detection of shorttrack defects. *Wear*, 271, 349-356. doi:10.1016/j.wear.2010.10.003
- Moubray, J. (1997). *Reliability Centred Maintenance II*. Oxford: Biddles Ltd. Guildford and King's Lynn
- Nadler, D. A. & Tushman, M. L. (1980). A Model for Diagnosing Organizational Behavior. *Organizational Dynamics*, 35-51.
- Palo, M. (2014). *Condition-Based Maintenance for Effective and Efficient Rolling Stock Capacity Assurance* (Dissertatie, Luleå University of Technology, Zweden).
- Schaafsma, A. A. M. (2001). *Dynamisch railverkeersmanagement besturingsconcept voor railverkeer op basis van het lagenmodel verkeer en vervoer* (Dissertatie, Technische Universiteit Delft, Nederland). Verkregen van <http://repository.tudelft.nl/view/ir/uuid:4245d6ab-cf07-4daa-a1d4-607f5a53190c/>
- Stadhouders, H. (2011). *A framework for implementing condition based maintenance based on operational data* (Master thesis, Technische Universiteit Eindhoven, Nederland). Verkregen van <http://alexandria.tue.nl/extra2/afstversl/tm/Stadhouders%202011.pdf>
- Sundberg, A. (2003). Management aspects on Condition Based Maintenance – the new opportunity for maritime industry. *9<sup>th</sup> International Conference on Marine Engineering Systems*. Helsinki University of Technology.



- Tahmasseby, S. (2009). *Reliability in Urban Public Transport Network Assessment and Design* (Dissertatie, Technische Universiteit Delft, Nederland). Verkregen van [http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:c6001e54-06bf-4076-a7a4-8ca2eb765714/Thesis\\_Shahram\\_Tahmasseby\\_\\_2009-Final\\_version\\_Trail\\_layout-cst.pdf](http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:c6001e54-06bf-4076-a7a4-8ca2eb765714/Thesis_Shahram_Tahmasseby__2009-Final_version_Trail_layout-cst.pdf)
- Union International des Chemins de Fer [UIC] (2010). *Monitoring Track Condition to improve Asset Management*. ISBN: 978-2-7461-1871-3
- Veldman, J. (2011). *Process Improvement for Engineering & Maintenance Contractors* (Dissertatie, Rijksuniversiteit Groningen, Nederland) ISBN: 978-90-367-5040-0
- Vonk, W. (2006). *Beheersmaatregelen bij de aansturing van een prestatiecontract voor onderhoud aan railinfrastructuur: Een onderzoek naar beheersmaatregelen bij de aansturing van een prestatiegericht contract voor onderhoud aan railinfrastructuur* (Essay, Universiteit Twente, Nederland). Verkregen van [http://essay.utwente.nl/57140/1/scriptie\\_Vonk.pdf](http://essay.utwente.nl/57140/1/scriptie_Vonk.pdf)
- Verschuren, P., & Doorewaard, H. (2007). *Ontwerpen van een onderzoek*. Den Haag, Nederland: Boom Lemma uitgevers.
- Waeyenbergh, G. & Pintelon, L. (2009). CIBOCOF: A framework for industrial maintenance concept development. *International Journal of Production Economics*, 121, 633-640. doi:10.1016/j.ijpe.2006.10.012
- Westgeest, F.P., Dekker, R. & Fisher, R.H. (2012). Predicting rail geometry deterioration by regression models. *Advances in Safety, Reliability and Risk Management*. ISBN: 978-0-415-68379-1
- Wireman, T. (2005). *Developing Performance Indicators for Managing Maintenance* (1<sup>th</sup> ed.). New York, USA: Industrial Press.
- Zoeteman, A. (2004). *Railway design and maintenance from a life-cycle cost perspective: A decision-support approach*. Delft, Nederland: Netherlands TRAIL Research School.

#### Documenten

- ARCADIS (2010a). *Beschrijving Geo Analyzer* (Projectnr. D02011.000133)
- ARCADIS (2010b). *Test en Validatieplan Geo Analyzer*
- ARCADIS (2011). *Introduction to Xeiz Railgeometry (Former Geoanalyzer)*
- ARCADIS (2013a). *Processchema Aanpak XEIZ Railgeometry PGO Eemland*
- ARCADIS (2013b). *Procesinrichting voor prestatiegericht onderhoudsmanagement Werkgroep Asset Management – Succesverhalen*.
- ARCADIS (2013c). *Advies liggingsonderhoud PGO Gelre voorjaar 2013* (Rapportnr. 077268300:A)
- ARCADIS (2014). *XEIZ Railgeometry Organisatieschema 2014*
- ASSET Rail (2011). *Kwaliteitsplan – PGO contractgebied Gelre* (Documentcode: 5862032/5.6/CBL/4611)
- ASSET Rail (2014). *Regelkring*
- AUTOMAIN (2014). *Inspection, Maintenance and Planning, ProRail*. Verkregen van <http://www.automain.eu/spip.php?article15>
- Inspectie Verkeer en Waterstaat (2010). *Monitoring verbetermaatregelen n.a.v. ontsporing Zwolle* (Rapportnr. RI-10I15.002)
- Inspectie Leefomgeving en Transport [ILT] (2013). *Prestatiegericht Onderhoud van de Nederlandse Spoorweginfrastructuur: Onderzoek naar de uitwerking van Prestatiegericht Onderhoud op het veilig berijden van het Nederlandse spoor* (Rapportnr. RV13-0017)

- Joksimovic, P. & van der Werf, G. (n.d) *Innovative Track Behavioural Model Estimating Risk of Incidents*, ARCADIS
- ProRail (2007). *OHD00022-2-V3*
- ProRail (2009). *OHD00022-2-V4*
- ProRail (2012). *Beheerplan 2012*
- ProRail (2013). *Beheerplan 2013*
- ProRail (2013). *HDB00016-V4*
- ProRail (2014). *Beheerplan 2014*
- ProRail, Strukton Groep, VolkerWessels NV, BAM Groep, ASSET Rail (2013). *Convenant Prestatie Gericht Onderhoud Spoor in Nederland - naar een toekomstbestendig model*

#### ***Bijeenkomsten***

- Kennistafel spoorgeometrie, ProRail, Utrecht
- AUTOMAIN, ProRail, Utrecht
- Rail Technology Conference 2014 – Switches, Düsseldorf
- Ontbijt Seminar - Wetenschap en railtechniek, voestalpine Railpro, Hilversum

#### ***Personen tijdens de ontwikkeling van het conceptueel raamwerk***

- Dhr. Ahsman                      Directeur, ASSET Rail, Bommel
- Dhr. Bengtsson                Maintenance Engineer & Researcher, Volvo & Mälardalen University
- Dhr. Dollevoet                Professor Railbouwkunde, Technische Universiteit Delft, Delft
- Dhr. Dourlein                  Adviseur Asset Management Rail, ARCADIS, Amersfoort
- Dhr. Folkerts                  Trainee Rail, ARCADIS, Amersfoort
- Dhr. Halman                    Professor Innovatiemanagement, Universiteit Twente, Enschede
- Dhr. Hartmann                Associate Professor Asset Management, Universiteit Twente, Enschede
- Mevr. Hoogeboom            PhD Change Management & Innovation, Universiteit Twente, Enschede
- Dhr. Horstink                  Specialist Onderhoud Railinfrastructuur, ARCADIS, Amersfoort
- Dhr. Joksimovic                Specialist Xeiz RG, ARCADIS, Amersfoort
- Dhr. Kuijpers                  Hoofd Realisatie, ASSET Rail, Bommel
- Dhr. Meekma                  Adviseur Asset Management Rail, ARCADIS, Amersfoort
- Dhr. Rietberg                  Specialist Baan, ASSET Rail, Bommel
- Dhr. Roberts                  Professor of Railway Systems, University of Birmingham, Utrecht
- Dhr. Steenberg                Onderzoeker Railbouwkunde, Technische Universiteit Delft, Delft
- Dhr. Van der Wal              Specialist Xeiz RG, ARCADIS, Amersfoort
- Dhr. Van der Werf            Teamleider Baan en Spoor, ARCADIS, Amersfoort

#### ***Media***

- Nieuwsuur.nl                  Waarschuwing over ProRail genegeerd, 30 januari 2013
- Treinverstoren.nl            Statistieken verstoren mei 2013 – oktober 2013

# Bijlage 1

# Definitielijst

| Term                                      | Uitleg                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ASSET Rail</b>                         | De jongste en eerste van de vier Proces Contract Aannemers die Kleinschalig Onderhoud doet aan de Nederlandse spoorinfrastructuur op basis van een Prestatie Gericht Onderhoudscontract.                                                                                                                                                                        |
| <b>Bovenbouwvernieuwing</b>               | Het vervangen van het ballastbed, dwarsliggers, spoorstaven en bovenleiding (Beheerplan 2013, ProRail, 2013).                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Correctief onderhoud</b>               | Reactieve acties in de vorm van reparatie of vervanging van een object wanneer het betreffende object in storing valt.                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Geometrische kwaliteit</b>             | De toestand van het horizontale en verticale spooralignement, afgebakend op de parameters <i>hoogte</i> en <i>schift</i> , welke is voorgeschreven door de OHD00022.                                                                                                                                                                                            |
| <b>Grootschalig onderhoud</b>             | Omvat activiteiten die nodig zijn om de kwaliteit van de infrastructuur te handhaven en de levensduur op de lange en middellange termijn te realiseren (Beheerplan 2012, ProRail, 2012).                                                                                                                                                                        |
| <b>Kennistafel Spoorgeometrie</b>         | Een kennisuitwisseling waarbij problemen en oplossingen van het liggingsonderhoud worden gedeeld tussen ProRail en PCA's.                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Liggingsonderhoud</b>                  | Is onderdeel van Kleinschalig Onderhoud en omvat de instandhouding (met de gerelateerde activiteiten) van de geometrische spoorkwaliteit.                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Kleinschalig Onderhoud</b>             | Is onderdeel van het onderhoud van ProRail en omvat geplande en ongeplande onderhoudsactiviteiten die noodzakelijk zijn om de prestaties op het gebied van beschikbaarheid, betrouwbaarheid, veiligheid en duurzaamheid te handhaven. Dit zijn inspecties van spoorinfrastructuur, spoorliggingscorrectie, componentvervanging en functieherstel bij storingen. |
| <b>OHD00022</b>                           | Norm voor de geometrische kwaliteit van het spoor, onder beheer van ProRail.                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Operationeel Eigendomsbeheer (OEB)</b> | Loket en afdeling binnen ASSET Rail waarbij derden werkzaamheden in het contractgebied moeten melden.                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Output Proces Contract (OPC)</b>       | OPC is de contractvorm waarbij op basis van een tevoren afgesproken onderhoudsplan het onderhoud aan de spoorinfrastructuur wordt uitgevoerd (Inspectie Verkeer en Waterstaat, 2010).                                                                                                                                                                           |
| <b>PGO 3.0</b>                            | Een contractvorm in ontwikkeling, met als basis Prestatie Gericht Onderhoud, dat door zowel ProRail als PCA's wordt vormgegeven.                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Predictief onderhoud</b>               | Proactief geplande acties in de vorm van reparatie of vervanging, waarbij op basis van objectdata uit het heden en verleden de toestand van het desbetreffend object voorspeld, zodat vastgesteld wordt waar en wanneer onderhoud nodig is.                                                                                                                     |
| <b>Prestatie Gericht Onderhoud (PGO)</b>  | PGO is de contractvorm waarbij de uitkomst (het gewenste niveau) van het te contracteren onderhoud centraal staat en waarbij de wijze van realisatie primair de verantwoordelijkheid is van de contractant (Inspectie Verkeer en Waterstaat, 2010).                                                                                                             |
| <b>Preventief onderhoud</b>               | Proactief (cyclisch) geplande tijdafhankelijke acties in de vorm van reparatie of vervanging ongeacht de leeftijd of staat van het object.                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Proces Contract Aannemer (PCA)</b>     | Een door ProRail gecertificeerde aannemer die Kleinschalig Onderhoud verricht in één of meerdere contractgebieden van de                                                                                                                                                                                                                                        |

|                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                           | Nederlandse spoorinfrastructuur onder beheer van ProRail.                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>ProRail</b>                            | Beheerder van de Nederlandse railinfrastructuur.                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Railinfrastructuur</b>                 | Het netwerk van sporen, beveiliging en eventuele energievoorziening ter geleiding en het dragen van treinen.                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Rapport van Onregelmatigheid (RVO)</b> | Zie Storing                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Spoor</b>                              | Zie Spoorframe.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Spoorframe</b>                         | Het samenstel van spoorstaven, bevestigingen, dwarsliggers of bevestiging van spoorstaven op een kunstwerk (OHD00022, ProRail, 2009).                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Spoorinfrastructuur</b>                | Zie Railinfrastructuur                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Spoorligging/-geometrie</b>            | De ligging van het spoorframe in het drie dimensionale vlak, bestaande uit de parameters hoogte, schift, verkantingsverschil en spoorwijdte. Het spoorframe is het samenstel van spoorstaven, bevestiging, dwarsligger of bevestiging op kunstwerk (OHD00022, ProRail, 2009).                                                                    |
| <b>Storing</b>                            | Onregelmatigheid waarbij de functionaliteit van de railinfrastructuur niet meer beschikbaar is zoals deze conform specificatie geleverd moet worden (HDB0016-V4, ProRail, 2013).                                                                                                                                                                 |
| <b>Toestandsafhankelijk onderhoud</b>     | Preventief onderhoud op basis van (geplande, gevraagde of continue) prestatie en/of parameter monitoring met de daaropvolgende gerichte acties om de prestatie of parameter waarde weer op vastgesteld niveau te brengen (Bengtsson, 2007), waarbij het tijdstip van de slechte toestand van de kwaliteit en het acteren daarop voorspeld wordt. |
| <b>Verstoring</b>                         | Iedere ongeplande en/of ongewenste gebeurtenis die de spoorwegveiligheid (inclusief de arbeidsveiligheid voor zover gerelateerd aan de railinfrastructuur) en/of het vereiste kwaliteitsniveau (veiligheid en/of beschikbaarheid) van de infra aantast of dreigt aan te tasten. (HDB00016-V4, ProRail, 2013).                                    |

## Bijlage 2 Enquête

### Bijlage 2.1 Enquêteprotocol

## Onderzoek naar de verbetering van het liggingsonderhoud door ASSET Rail

Mijn naam is Laurens Vet en ik studeer Construction Management aan de Universiteit Twente. Op dit moment studeer ik af bij ARCADIS in samenwerking met ASSET Rail en doe onderzoek naar de verbetering van het liggingsonderhoud van ASSET Rail.

U bent geselecteerd om met mij te spreken, omdat u mij informatie kan verschaffen over uw kennis en ervaring van het liggingsonderhoud bij ASSET Rail. Mijn onderzoek is gericht op de verbetering van het liggingsonderhoud dat door ASSET Rail wordt uitgevoerd. Het onderzoek is niet bedoeld om uw kennis en ervaringen te evalueren, maar ik wil graag meer leren over het verbeteren van het liggingsonderhoud dat door ASSET Rail wordt gedaan.

Het doel van het onderzoek is het verklaren welke factoren het liggingsonderhoud van ASSET Rail beïnvloeden.

Door middel van deze vragenlijst wil ik een algeheel beeld krijgen, hoe de medewerkers van ASSET Rail en ARCADIS staan tegenover het liggingsonderhoud. Ik vraag u deze lijst eerlijk in te vullen. De data zal anoniem worden verwerkt in het onderzoeksrapport en niet meer herleidbaar zijn naar u als persoon.

Het invullen van de vragenlijst vraagt maximaal vijftien minuten van uw tijd. De resultaten van het onderzoek zullen worden gepubliceerd bij ASSET Rail.

Wilt u zo vriendelijk zijn de vragenlijst vóór zaterdag 29 maart 2014 in te vullen.

Alvast bedankt voor uw medewerking!

Laurens Vet  
ARCADIS

Start

1.

**Wat is uw leeftijd?\***

2.

**Wat is uw functie bij ASSET Rail en/of ARCADIS?\***

3.

**Hoeveel jaar bent u werkzaam bij ASSET Rail en/of ARCADIS? Indien u bij één van de twee niet werkzaam bent vult u het getal 0 in.**

Aantal jaren bij ASSET Rail

Aantal jaren bij ARCADIS

4.

**Bent u bekend met het voorspellen van liggingsonderhoud?\***

☐

Nee

☐

Enigszins

☐

Ja

5.

**Bent u bekend met de rol van ARCADIS bij het liggingsonderhoud van ASSET Rail?\***

☐

Nee

☐

Enigszins

☐

Ja

6.

**Bent u bekend met Xeiz Rail Geometrie?\***

☐

Nee

☐

Enigszins

☐

Ja



Hieronder volgen een aantal stellingen, waarbij uw mening wordt gevraagd. Uw antwoord vinkt u aan doormiddel van: Helemaal niet belangrijk t/m Heel Belangrijk.

Indien u niet kan antwoorden of u de stelling al dan niet belangrijk vindt, dan kunt u 'Geen idee' aanvinken.

Onder 'predictief liggingsonderhoud' wordt verstaan: het voorspellen van liggingsonderhoud.

[illegible]

**Daarnaast wordt u gevraagd of u dit bij ASSET Rail en/of ARCADIS herkent. Hiervoor kunt u Nee, Enigzins of Ja op antwoorden.**

[illegible]



Hieronder volgen een aantal stellingen, waarbij uw mening wordt gevraagd. Uw antwoord vinkt u aan doormiddel van: Helemaal niet belangrijk t/m Heel Belangrijk.

**Daarnaast wordt u gevraagd of u dit bij ASSET Rail en/of ARCADIS herkend. Hiervoor kunt u Nee, Enigzins of Ja op antwoorden.**

Indien u niet kan antwoorden of u de stelling al dan niet belangrijk vindt, dan kunt u 'Geen idee' aanvinken.

[illegible]

[illegible]

10.

Hieronder volgen een aantal stellingen, waarbij uw mening wordt gevraagd. Uw antwoord vinkt u aan doormiddel van: Helemaal niet belangrijk t/m Heel Belangrijk.

Daarnaast wordt u gevraagd of u dit bij ASSET Rail en/of ARCADIS herkend. Hiervoor kunt u Nee, Enigzins of Ja op antwoorden.

Indien u niet kan antwoorden of u de stelling al dan niet belangrijk vindt, dan kunt u 'Geen idee' aanvinken.

|                                                                                                                              | Helemaal niet<br>Belangrijk |                       |                       |                       | Heel Belangrijk       | Nee                   |                       |                       | Ja | Geen<br>idee             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----|--------------------------|
| Voorafgaand aan de uitvoering van het liggingsonderhoud is monitoring van de spoorgeometrie nodig                            | <input type="radio"/>       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |    | <input type="checkbox"/> |
| Het interval van monitoren van de spoorgeometrie hangt af van de locatie                                                     | <input type="radio"/>       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |    | <input type="checkbox"/> |
| Voorafgaand aan de uitvoering van het liggingsonderhoud is analyse van de spoorgeometrie nodig                               | <input type="radio"/>       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |    | <input type="checkbox"/> |
| Voor het bepalen van het benodigde liggingsonderhoud is de spoorligging uit het verleden en heden nodig                      | <input type="radio"/>       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |    | <input type="checkbox"/> |
| Voor het bepalen van het benodigde liggingsonderhoud is data nodig van de kosten, planningen en uitgevoerd liggingsonderhoud | <input type="radio"/>       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |    | <input type="checkbox"/> |
| Stop-schiftmachines moeten worden ingezet voor gepland liggingsonderhoud, voortkomend uit analyses van ARCADIS               | <input type="radio"/>       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |    | <input type="checkbox"/> |
| Voordat het liggingsonderhoud wordt uitgevoerd, moet allereerst de werkelijke                                                | <input type="radio"/>       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |    | <input type="checkbox"/> |





11.

**Zijn er nog punten die u van belang vindt voor de instandhouding van de spoorgeometrie op basis van voorspellingen?\***



12.

**Wat is uw naam?**

**(Uw naam zal niet openbaar gemaakt worden, maar dient uitsluitend als referentie)\***

Verstuur

Bedankt voor het invullen van de vragenlijst. Uw medewerking draagt bij aan de verbetering van het liggingsonderhoud van ASSET Rail.

Indien u nog vragen heeft kunt u altijd met mij contact opnemen.

Laurens Vet

## Bijlage 2.2

## Resultaten open vragen

| Functie                                       | Zijn er nog punten die u van belang vindt voor de instandhouding van de spoorgeometrie?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Kernbegrippen                                                                                              |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ARCADIS - Specialist                          | Meer sturing vanuit het groter geheel, waarbij de samenhang tussen alle onderdelen van XEIZ Railgeometrie voor de projectleiders duidelijk is en <i>wordt</i> uitgedragen naar alle betrokkenen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <i>Samenhang; Uitdragen.</i>                                                                               |
| ASSET Rail - Binnendienst                     | het programma Xeiz zou gebruiksvriendelijker moeten zijn voor mensen, die niet zo thuis zijn in computer gebruik nu moeten er van allerlei items geladen worden. het zou makkelijker zijn, als er simpel via buttons oid dingen geactiveerd kunnen worden en misschien direct koppelen aan Arc Gis                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <i>Aanpassen aan kennis en ervaring.</i>                                                                   |
| ARCADIS - Specialist                          | Meer integratie van advies en uitvoering. Nu wordt het advies als een afgebakend project uitgevoerd en lijkt het erop dat het advieswerk na levering van het adviesrapport is afgerond. Daarmee missen we echter de integratie met besluitvorming over machine-inzet en terugkoppeling van de resultaten. Naar mijn mening zou er een langere en nauwere integratie moeten plaatsvinden tussen advies, uitvoering en evaluatie, als een doorlopend proces.                                                                                                                                                                                                     | <i>Integratie; Cyclus; Samenwerking en communicatie; Terugkoppeling.</i>                                   |
| ASSET Rail - Binnendienst                     | externe werkzaamheden moeten ten alle tijden inzichtelijk zijn anders heb je niets aan een voorspelling                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <i>Uitgevoerd werk; Externe partij.</i>                                                                    |
| ASSET Rail- Hoofdmonteur                      | De instandhouding kan voor de toekomst gewaarborgt blijven als ook allen die betrokken zijn bij de dagelijkse werkzaamheden voldoende kennis in zich hebben . Scholing is en blijft noodzaak voor m.n. inhuurbedrijven .tenminste moet monteurs cursus gevolgt zijn.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <i>Kennis en ervaring; Scholing; Externe partij.</i>                                                       |
| ARCADIS - Specialist                          | Het zou zeer waardevol als er vanuit de voorspellingen ook kan worden bepaald wat voor liggingsonderhoud nodig is. Hierbij kun je denken aan een stopmachine, handmatig liggingsonderhoud, dwarsligger vervangen, verbetering aardebaan etc.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <i>Uitvoering.</i>                                                                                         |
| ARCADIS – Projectleider/ Adviseur/ Management | Naast financieel rendement, is het belangrijk voor alle betrokkenen welke VW en BW - overschrijdingen voorkomen zijn. (eer uit werk) en welke locaties door voorspellend vermogen extra onderhoud behoeven.\r\n\r\nOok is belangrijk voor het management om dashboard informatie te hebben.\r\n\r\nNog 1: voor alle betrokkenen is het belangrijk om te weten wat elkaars belangen zijn (ie specialist baan, maar ook analist XEIZ RG moet van planner weten hoe ver vantevoren de onderhoudsactie ingezet moet worden om een fatsoenlijke buitendienststelling en bestelling van materieel te kunnen realiseren.. ketenkennis. Die vraag heb je goed gesteld! | <i>Financieel rendement; Eer uit werk; Hit-rate voorspelling; Ketenkennis; Dashboard info; Integratie.</i> |
| ASSET Rail- Hoofdmonteur                      | Frequent schouwen op liggingsonderhoud zodat op tijd met onderhoud ingegrepen kan worden.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <i>Frequentie monitoring; Schouw.</i>                                                                      |
| ASSET Rail - Management                       | De vraag over input van de kosten, planningen en uitgevoerd onderhoud voor het bepalen van preventief onderhoud is                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <i>Uitgevoerd werk; Techniek.</i>                                                                          |

|                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                              |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                        | technisch gezien de kosten en plannings niet van toepassing. De techniek bepaald of iets nodig is. Uitgevoerd onderhoud is een indicator over de kwaliteit van het uitgevoerde werk en/of bodemgesteldheid of andere bijzondere omstandigheden. |                                                                                              |
| ASSET Rail-<br>Hoofdmonteur                            | De bevindingen van de schouwers die in het gebied lopen.                                                                                                                                                                                        | <i>Schouw;</i><br><i>Validatie.</i>                                                          |
| ASSET Rail-<br>Hoofdmonteur                            | periodieke controle is zeer belangrijk,hetzij meten dmv meetrein,schouw,metingen in periodiek ond. Bevindingen terug brengen naar de ond.normen dmv preventief ond.                                                                             | <i>Frequentie monitoring;</i><br><i>Preventief.</i>                                          |
| ARCADIS –<br>Projectleider/<br>Adviseur/<br>Management | Maak een koppeling tussen het advies liggingsonderhoud en het daadwerkelijk uitgevoerde onderhoud.                                                                                                                                              | <i>Integratie;</i><br><i>Terugkoppeling;</i><br><i>Uitgevoerd werk;</i><br><i>Validatie.</i> |
| ASSET Rail -<br>Binnendienst                           | ProRail                                                                                                                                                                                                                                         | <i>Branche.</i>                                                                              |
| ASSET Rail -<br>Management                             | Relatie tussen onderhoud en flexibiliteit hierin met de (voortdurend) wisselende eisen van ProRail.                                                                                                                                             | <i>Prestatienorm.</i>                                                                        |
| ARCADIS –<br>Projectleider/<br>Adviseur/<br>Management | Terugkoppeling wat er met de resultaten gebeurd is en of deze overeenkomen met de werkelijke ligging buiten                                                                                                                                     | <i>Terugkoppeling;</i><br><i>Validatie.</i>                                                  |
| ASSET Rail-<br>Hoofdmonteur                            | Nalichten naar werkzaamheden die uitgevoerd zijn zoals uitgraven klapper es lassen vervangen ,ballastvernieuwing, aansluitingen overwegen , bruggen .                                                                                           | <i>Uitgevoerd werk.</i>                                                                      |

#### Interpretatie van de kernpunten van de antwoorden.

| ASSET Rail                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hoofdmonteurs                             | Scholing externe partijen, kennis en ervaring/ frequenter schouwen, eerder ingrijpen/ schouw, bevindingen, <i>validatie</i> / frequente monitoring/ na-lichten >> frequent monitoren                                                                                                          |
| Binnendienst                              | Gebruiksvriendelijker tools, aanpassen aan kennis en ervaring, inzicht in externe werkzaamheden (uitgevoerd werk),                                                                                                                                                                            |
| Management                                | Uitgevoerd onderhoud, techniek belangrijker dan kosten en planning/ contract-eisen, flexibiliteit                                                                                                                                                                                             |
| ARCADIS                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Specialisten                              | Samenhang, groter geheel, sturing, uitdragen/<br>meer integratie en terugkoppeling van advies en uitvoering, doorlopend proces, samenwerking en communicatie                                                                                                                                  |
| Projectleider,<br>Adviseur,<br>Management | Financieel rendement. Eer uit werk, hit-rate voorspellingen moet bekend zijn voor iedereen, dashboardinformatie, ketenkennis, samenwerking en communicatie/<br><i>integratie</i> en terugkoppeling van advies en uitgevoerd onderhoud, <i>validatie</i> /<br>terugkoppeling, validatie advies |

## Bijlage 3 Interviewprotocol

**Interviewer:** Laurens Vet

**Plaats:** ..... **Tijd** ..... 

**Respondent:** .....

**Leeftijd** .....

**Functie** .....

**Aantal jaren werkzaam:** .....

**Te meten aspecten:**

- B Kennis van Predictief Liggingsonderhoud (10 min)
- C1. Organisatie (7 min)
- C2 Medewerkers (7 min)
- C3 Techniek (7 min)
- C4 Onderhoudsproces (7 min)
- D Aanvullende vraag (10 min)
- E Eind (5 min)

### **A1: Introductie interview (2 min)**

Nogmaals bedankt dat u tijd wil vrijmaken voor dit interview. U bent geselecteerd om met mij te spreken, omdat u mij informatie kan verschaffen over uw kennis en ervaring van het liggingsonderhoud bij ASSET Rail. Mijn onderzoek is gericht op de verbetering van het liggingsonderhoud dat door ASSET Rail wordt uitgevoerd. Het onderzoek is niet bedoeld om uw kennis en ervaringen te evalueren. Ik wil graag meer leren over het verbeteren van het liggingsonderhoud.

Het doel van het onderzoek is het verklaren welke factoren de toepassing van liggingsonderhoud door ASSET Rail op basis van voorspellingen, beïnvloeden. Anders gezegd, predictief liggingsonderhoud. Predictief betekent voorspellend.

Van tevoren heeft u de online-vragenlijst ingevuld. Hiervoor wil ik u **nogmaals bedanken**. Tijdens het interview gaan we dieper in op deze lijst.

### **A2: Interview Procedure (3 min)**

Ter analyse van het interview wil ik graag het gesprek tussen ons **opnemen**. De data zal **anoniem** worden verwerkt in het onderzoeksrapport en **niet meer herleidbaar zijn naar u als persoon**. Gaat u **hiermee akkoord**?

Het interview staat gepland voor de **duur van één uur**. Gedurende deze tijd wil ik de drie onderdelen van het interview behandelen. Elk onderdeel bevat open vragen die ik door u laat beantwoorden. Als de tijd begint te dringen, is het **mogelijk dat ik u onderbreek**, zodat we genoeg tijd hebben om de geplande vragen beantwoord te krijgen. Bent u geïnteresseerd in de **eindresultaten van het afstudeeronderzoek**?

**Is het tot zover duidelijk?** Dan beginnen we nu met de eerste vragen.

**B: Kennis en ervaring van predictief liggingsonderhoud (10 min)**

1. Wat kunt u mij vertellen over het gebruik van voorspellingen voor het liggingsonderhoud?

*Waarom?*

*Kunt u mij een voorbeeld geven?*

2. Wat is volgens u van invloed om op basis van voorspellingen het liggingsonderhoud uit te voeren en waarom?

*Waarom?*

*Kunt u mij een voorbeeld geven?*

*Open antwoord uit de enquête:*

3. Wat kunt u mij vertellen over Xeiz Rail Geometrie?

*Waarom?*

*Kunt u mij een voorbeeld geven?*

4. In hoeverre wordt er door ASSET Rail al liggingsonderhoud op basis van voorspellingen gedaan?

*Waarom?*

*Kunt u mij een voorbeeld geven?*

### **C: Categorieën (30 min)**

U heeft de vragenlijst ingevuld, waarin u noteerde welke factoren u wel en niet belangrijk vindt, om liggingsonderhoud op basis van voorspellingen te doen. Deze vragenlijst was verdeeld in vier categorieën. Zo meteen leg ik u per categorie enkele factoren voor. Hiervan wil ik vragen waarom u deze wel of niet belangrijk vindt. Daarnaast ben ik benieuwd in hoeverre dit al dan niet wordt toegepast voor het liggingsonderhoud door ASSET Rail.

#### **1. Medewerkers**

- 1) Houding van medewerkers voor pred. ligg. ond. (reactief/proactief)
- 2) Scholing van medewerkers (ervaring & kennis van medewerkers)
- 3) Medewerker weet wie verantwoordelijk is bij elke activiteit in het proces

*Waarom vindt u het belangrijk?*

*Waarom vindt u het niet belangrijk?*

*Wordt dit al toegepast? Waarom wel/niet?*

*Kunt u mij een concreet voorbeeld geven?*

*(On)afhankelijkheid en samenhang? (Wat als het er wel/niet is)*

#### **2. Organisatie**

- 1) Functie van het management voor pred. ligg. onderh
- 2) Personen die pred. ligg. ond. Promoten communiceren binnen AR/AC, verschillende lagen
- 3) Continue verbeteren van pred. ligg. ondh.

*Waarom vindt u het belangrijk?*

*Waarom vindt u het niet belangrijk?*

*Wordt dit al toegepast? Waarom wel/niet?*

*Kunt u mij een concreet voorbeeld geven?*

*(On)afhankelijkheid en samenhang?*

#### **3. Techniek**

- 1) Gebruik van data/ info voor pred. ligg. onderh. (meetrein/monteur's kennis & ervaring)
- 2) Gebruik van modellen, software & FMECA's
- 3) P-F curve of anders

*Waarom vindt u het belangrijk?*

*Waarom vindt u het niet belangrijk?*

*Wordt dit al toegepast? Waarom wel/niet?*

*Kunt u mij een voorbeeld geven?*

*(On)afhankelijkheid en samenhang?*



#### 4. Onderhoudsproces

- 1) Samenwerking & communicatie tussen verschillende activiteiten in het onderhoudsproces
- 2) Terugkoppeling/ feedback in het proces (as-found, uitgevoerd werk?)
- 3) Medewerker's kennis van andere activiteiten en functies in het proces?
- 4) Invloed van activiteiten in het onderhoudsproces?
- 5) Resultaat van pred. ligg. onderh. (financieel rendement, prestatie indicatoren)
- 6) Schouwen & meettrein (combineren? hoe?)

*Waarom vindt u het belangrijk?*

*Waarom vindt u het niet belangrijk?*

*Wordt dit al toegepast? Waarom wel/niet?*

*Kunt u mij een concreet voorbeeld geven?*

*(On)afhankelijkheid en samenhang?*

*Invloed van prestatienormen?*

#### D: Aanvullingen (10 min)

De factoren zijn nu besproken.

Welke aanvullingen heeft u nog, die u van belang vindt om liggingsonderhoud te kunnen uitvoeren op basis van voorspellingen?

*Organisatie, Medewerkers, Techniek, Onderhoudsproces?*

*Waarom vindt u het belangrijk?*

*Waarom vindt u het niet belangrijk?*

*Wordt dit al toegepast? Waarom wel/niet?*

*Kunt u mij een concreet voorbeeld geven?*

*(On)afhankelijkheid en samenhang?*

#### E: Afsluiting (5 min)

We naderen het einde van het interview. Graag wil ik u een korte samenvatting geven van het gesprek.

Mailing uitgewerkt interview?

Begin juli verwacht ik het onderzoek te publiceren.

Hartelijk dank voor u medewerking

## Bijlage 4

## Observatieprotocol

Observatie is in kwalitatief onderzoek ongestructureerd. Gebeurtenissen tijdens het observeren kunnen leiden tot het observeren van nieuwe onvoorziene gebeurtenissen en een ander perspectief op het proces van liggingsonderhoud. Het is wel belangrijk vanuit de onderzoeksvragen te observeren. Observatie kan vastgelegd worden met aantekeningen, audiomatig of met foto's. Laat jezelf introduceren en vertel aan de mensen dat je met het onderzoek bezig bent. Zorg er voor dat je van de participanten toestemming krijgt om te observeren. Tijdens het observeren ga je stil en onopvallend te werk. Wees vriendelijk. Voor het observeren kun je het schrijfblok in twee kolommen verdelen. De linker kolom zijn de objectieve observaties die je beschrijft, d.m.v. aantekeningen of tekeningen. De rechter kolom bevat jou interpretaties hiervan (Leedy & Ormrod, 2010).

- Verloop van de planning met bijbehorende activiteiten
- Taakverdeling
- Voorbereidingen
- Feedback/terugkoppeling
  - Wat wordt geregistreerd?
  - Hoe wordt geregistreerd?
- Bijzondere situaties
  - Hoe verlopen bijzondere situaties?
  - Wat als minder gedaan wordt dan nodig?
  - Wat als meer gedaan wordt dan nodig?
- Wat valt op in algemene zin?
- Opvolging van werkmap
  - Hoe wordt instructies gegeven?
  - Hoe wordt met de werkmap gewerkt?
  - As-found toestand beschreven?
  - Registratie van de ligging en hoe?
  - Registratie van uitgevoerd werk en nameting?
- Houding en mentaliteit van medewerkers?
- Gebruikt materieel?
- Gebruikt materiaal?
- Communicatie en documentatie
  - As-found toestand, nul-meting?
  - Uitgevoerd onderhoud?
  - Meer uitgevoerd dan gepland?
    - Hoe dit geregistreerd?
- Hoe wordt omgegaan met het feit dat een PCA een stopmachine en medewerkers van de concurrent inhuurt?
- Wat weten de mensen van voorspellend liggingsonderhoud en Xeiz RG?

| Observatie | Interpretatie |
|------------|---------------|
|            |               |

## Bijlage 5

# Kernbegrippen kwalitatieve inhoudsanalyse Empirie

## Empirie

|  Name                                                                 |  Sources | References | Create   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------|
|  Omgeving                                                             | 0                                                                                           | 0          | 14/04/08 |
|  Omgevingscomplexiteit                                                | 1                                                                                           | 1          | 14/04/08 |
|  Stakeholders                                                         | 3                                                                                           | 3          | 14/04/10 |
|  Reactief gedrag                                                      | 0                                                                                           | 0          | 14/04/08 |
|  RVO                                                                  | 1                                                                                           | 1          | 14/04/08 |
|  Lopen op de tenen                                                    | 3                                                                                           | 3          | 14/04/08 |
|  Brandjes blussen                                                     | 10                                                                                          | 17         | 14/04/08 |
|  Functie van het management                                           | 0                                                                                           | 0          | 14/04/08 |
|  Middelen verschaffen                                                 | 4                                                                                           | 5          | 14/04/07 |
|  Monitoren                                                            | 4                                                                                           | 5          | 14/04/07 |
|  Betrokken                                                            | 6                                                                                           | 8          | 14/04/08 |
|  Doelstellend met stimulans                                           | 6                                                                                           | 11         | 14/04/10 |
|  Kennis en ervaring van medewerkers                                   | 2                                                                                           | 3          | 14/04/08 |
|  Medewerkers moeten context kennen                                    | 4                                                                                           | 8          | 14/04/08 |
|  Kennis en ervaring van monteurs                                      | 5                                                                                           | 9          | 14/04/07 |
|  Inhoudelijke kennis bij de functie houden                           | 7                                                                                           | 13         | 14/04/08 |
|  Samenwerking en communicatie                                       | 2                                                                                           | 2          | 14/04/08 |
|  Opknippen van activiteiten is risico                               | 3                                                                                           | 3          | 14/04/08 |
|  Samen moeten we het doen                                           | 3                                                                                           | 3          | 14/04/08 |
|  Activiteit inhoudelijk, Overdracht tussen activiteiten procesmatig | 4                                                                                           | 12         | 14/04/07 |
|  meer communicatie onderling                                        | 4                                                                                           | 6          | 14/04/08 |
|  eenduidigheid in het proces                                        | 6                                                                                           | 9          | 14/04/07 |
|  Resultaat voorspellend liggingsonderhoud                           | 2                                                                                           | 2          | 14/04/08 |
|  Validiteit advies                                                  | 2                                                                                           | 3          | 14/04/08 |
|  Voorspellingen zijn onvoldoende                                    | 2                                                                                           | 2          | 14/04/08 |
|  Belangrijk maar moeilijk meetbaar                                  | 3                                                                                           | 4          | 14/04/07 |
|  Onbekend met het resultaat                                         | 5                                                                                           | 9          | 14/04/07 |
|  Prestatie indicatoren                                              | 5                                                                                           | 5          | 14/04/08 |
|  Financieel                                                         | 6                                                                                           | 6          | 14/04/07 |
|  Kennis over het voorspellen van liggingsonderhoud                  | 3                                                                                           | 4          | 14/04/08 |
|  Geen vertrouwen in voorspelling                                    | 2                                                                                           | 4          | 14/04/08 |
|  Loop schouw als voorspelling                                       | 2                                                                                           | 2          | 14/04/08 |
|  Voorkoming verstoren proces                                        | 2                                                                                           | 7          | 14/04/07 |
|  Op de hoogte van voorspellen liggingsonderhoud                     | 3                                                                                           | 3          | 14/04/07 |
|  Geen besef                                                         | 4                                                                                           | 7          | 14/04/07 |
|  Ziet voordelen van voorspellen in                                  | 4                                                                                           | 5          | 14/04/08 |
|  Continue verbeteren                                                | 3                                                                                           | 4          | 14/04/08 |
|  Onbewust proces                                                    | 3                                                                                           | 3          | 14/04/07 |
|  Continue verbeteren is essentieel                                  | 4                                                                                           | 5          | 14/04/07 |
|  Clustering                                                         | 5                                                                                           | 6          | 14/04/07 |
|  Meer continue verbetering nodig                                    | 6                                                                                           | 7          | 14/04/08 |

## Empirie

|  Name                                                                                                            |  Sources | References | Create   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------|
|  Uitbreiding Zeiz                                                                                                | 7                                                                                           | 11         | 14/04/07 |
|   Kennis over Zeiz RG           | 3                                                                                           | 4          | 14/04/07 |
|  Geen kennis van betrokkenheid AC                                                                                | 2                                                                                           | 4          | 14/04/08 |
|  Geen kennis van Zeiz RG                                                                                         | 3                                                                                           | 3          | 14/04/09 |
|  Tool                                                                                                            | 6                                                                                           | 6          | 14/04/07 |
|   Houding van medewerkers       | 4                                                                                           | 9          | 14/04/07 |
|  OPC-mentaliteit                                                                                                 | 2                                                                                           | 2          | 14/04/07 |
|  Medewerkers moeten zelf gaan denken                                                                             | 3                                                                                           | 5          | 14/04/07 |
|  Verantwoordelijkheidsgevoel                                                                                     | 3                                                                                           | 4          | 14/04/08 |
|  Vertrouwen nodig                                                                                                | 4                                                                                           | 6          | 14/04/08 |
|  AC proactief, AR deels reactief                                                                                 | 5                                                                                           | 8          | 14/04/08 |
|  Geleidelijk verandering van houding                                                                             | 5                                                                                           | 9          | 14/04/07 |
|  Proactieve houding                                                                                              | 5                                                                                           | 11         | 14/04/07 |
|  Champion behaviour                                                                                              | 5                                                                                           | 7          | 14/04/07 |
|   Onderhoudsproces            | 7                                                                                           | 7          | 14/04/07 |
|   Data                      | 2                                                                                           | 3          | 14/04/07 |
|  data van verwachtingen                                                                                        | 2                                                                                           | 4          | 14/04/07 |
|  huidige conditie                                                                                              | 2                                                                                           | 2          | 14/04/08 |
|  betrouwbare data                                                                                              | 3                                                                                           | 5          | 14/04/08 |
|  frequentie dataverzameling                                                                                    | 3                                                                                           | 5          | 14/04/08 |
|  data van historie                                                                                             | 4                                                                                           | 7          | 14/04/07 |
|  meettrein                                                                                                     | 4                                                                                           | 6          | 14/04/08 |
|  data van schouw                                                                                               | 6                                                                                           | 20         | 14/04/07 |
|  data van het spoorstelsel                                                                                     | 8                                                                                           | 13         | 14/04/07 |
|  werkzaamheden derden                                                                                          | 8                                                                                           | 10         | 14/04/09 |
|   Modellen en software      | 6                                                                                           | 7          | 14/04/07 |
|  Datastream, ORTEC, Advanced Mobile                                                                            | 3                                                                                           | 3          | 14/04/07 |
|   Sluitend onderhoudsproces | 11                                                                                          | 28         | 14/04/15 |
|   Registratie               | 2                                                                                           | 3          | 14/04/07 |
|  Evaluatieformulieren                                                                                          | 1                                                                                           | 1          | 14/04/08 |
|  Werkmethodieken                                                                                               | 1                                                                                           | 1          | 14/04/07 |
|  Werkorders                                                                                                    | 1                                                                                           | 2          | 14/04/07 |
|  FMECA                                                                                                         | 7                                                                                           | 9          | 14/04/07 |
|   Validatie                 | 2                                                                                           | 3          | 14/04/15 |
|  Trendbreuken                                                                                                  | 3                                                                                           | 7          | 14/04/07 |
|  Onderling overleg                                                                                             | 6                                                                                           | 8          | 14/04/07 |
|   Terugkoppeling            | 7                                                                                           | 15         | 14/04/15 |
|  Uitgevoerd werk                                                                                               | 2                                                                                           | 2          | 14/04/08 |
|  Uitvoerende naar binnen belangrijk                                                                            | 2                                                                                           | 4          | 14/04/08 |
|  Constaties van monteurs                                                                                       | 3                                                                                           | 6          | 14/04/07 |

## Empirie

|  Name                                           |  Sources | References | Create   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------|
|  OEB                                            | 3                                                                                           | 5          | 14/04/09 |
|  onderscheid maken tussen meetfout en afwijking | 3                                                                                           | 4          | 14/04/08 |
|  geen bewustzijn van terugkoppeling             | 5                                                                                           | 12         | 14/04/07 |
|  Scholing medewerkers                           | 8                                                                                           | 14         | 14/04/07 |



## Bijlage 6

## Processchema's

### Bijlage 6.1

### Huidig proces van predictief liggingsonderhoud

In het schema zijn de processen van ARCADIS en ASSET Rail gescheiden, vanwege de onafhankelijkheid van beide organisaties. De verbinding tussen deze gescheiden processen is weergegeven met grijze connector-symbolen.

Voor zowel ARCADIS als ASSET Rail beginnen de processen met de *contracteisen* van ProRail waarin de onder andere de voorgeschreven prestatienormen volgens de OHD0022 staan beschreven voor de veiligheids- en bodemwaarden. Naast deze prestatienormen van het betreffende contractgebied is voor team Xeiz de *recente en historische meetdata van de UFM 120* en beschikbare data van ASSET Rail nodig. Deze data van ASSET Rail bestaan uit een *lijst met afgesloten werkorders* met betrekking tot het liggingsonderhoud. Deze drie bronnen worden doormiddel van de *inputverificatie* gecontroleerd op bruikbaarheid alvorens deze als input voor de analyse kunnen dienen. Daarnaast worden de *uitgangspunten* met ASSET Rail vastgesteld, waarmee voor Xeiz RG de grenswaarden voor overschrijdingsrisico's worden bepaald. Na *analyse* wordt deze nogmaals geverifieerd en wordt clustering van de risicolocaties bijgewerkt, waarin visueel op kilometrering de voorspelde onderhoudslocaties en de kans op overschrijding van de parameters is weergegeven voor de toekomstige jaren. Overleg tussen de specialist van team Xeiz RG en van team Baan van ASSET Rail vergroot de *gebiedskennis en kwalitatieve data*. Vervolgens worden *handmatig de voorspelde onderhoudslocaties aangevuld met aandachtsgebieden* die op basis van de gebiedskennis van de specialisten zijn aangereikt. Dit leidt tot het *definitieve adviesrapport* voor ASSET Rail, inclusief een visualisatie van de locaties in een GIS-kaart en de bijgewerkte clusteringtool.

Het onderhoudsproces van ASSET Rail start met de contracteisen en een lijst met infra-objecten welke in de zogenaamde BID00001 van ProRail zijn beschreven. Hieruit volgt een FMECA met beheersmaatregelen waarin voor elke beheersmaatregel de bijbehorende onderhoudsstrategie volgens de RCM-methodiek is bepaald. Voor liggingsonderhoud wordt de strategie toestandsafhankelijk onderhoud (TAO) gehanteerd. Toch zou de strategie predictief onderhoud een betere definitie zijn, vanwege de focus op prognose dat door de adviezen van ARCADIS wordt gegeven. Voor de beheersmaatregelen van liggingsonderhoud zijn drie werkmethodieken beschreven, namelijk handmatig stoppen, machinaal stoppen van wissels en machinaal stoppen van de rechte baan. Dit leidt vervolgens tot een onderhoudsplan waarin de periodieke uitvoering van al het onderhoud staat beschreven volgens de FMECA's en Werkmethodieken. Vervolgens leidt dit tot werkvoorbereiding en planning hiervan.

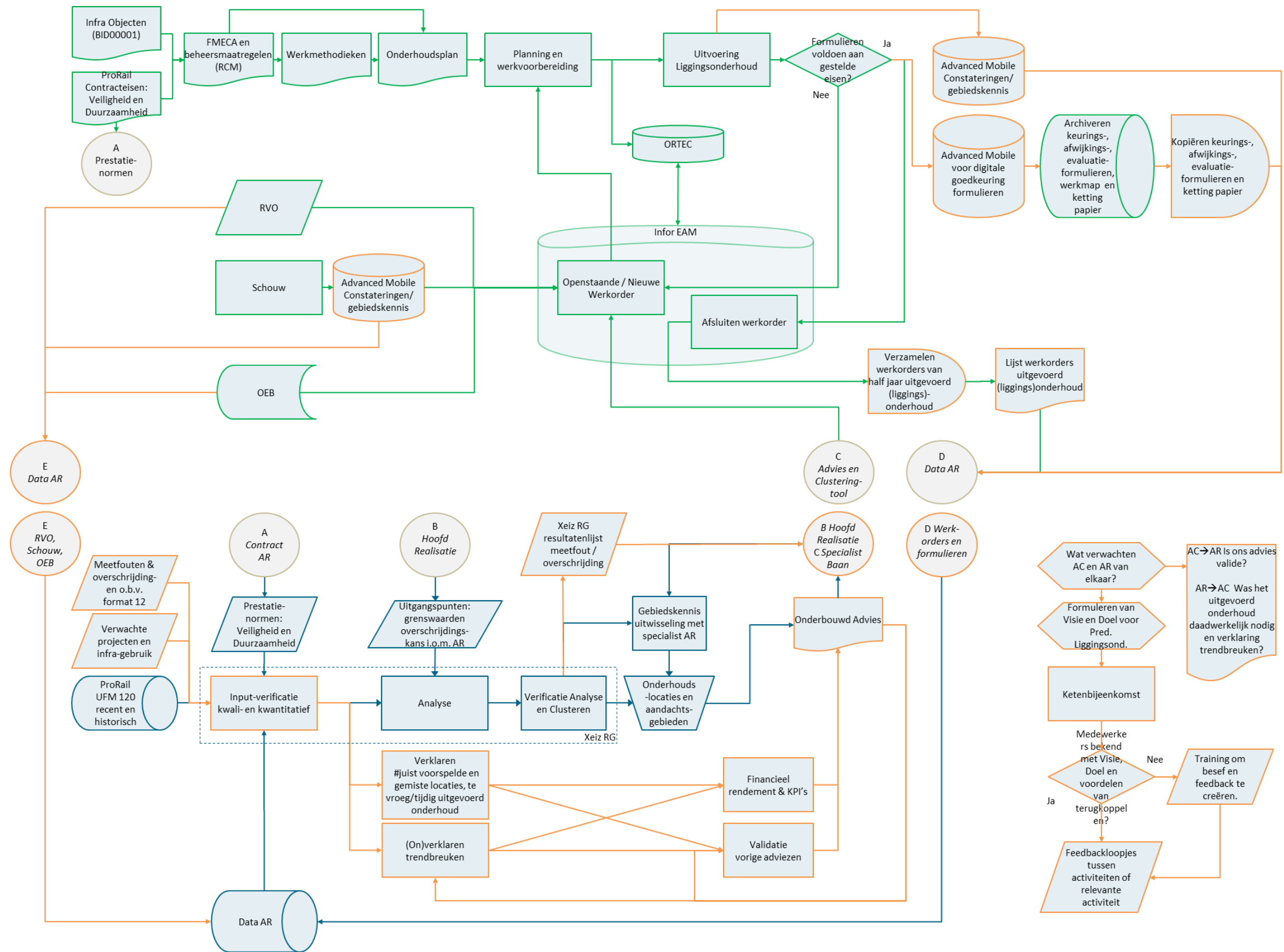
De afweging voor het wel of niet meenemen van de geadviseerde onderhoudslocaties en de aandachtsgebieden wordt door de specialisten Baan van ASSET Rail bepaald. De mee te nemen *onderhoudslocaties en aandachtsgebieden* worden in het onderhoudsmanagementsysteem *Infor EAM* als *werkorder* aangemeld, naast alle werkorders van het periodiek onderhoud welke voortkomen uit het *onderhoudsplan*. Daarnaast worden ook werkorders aangemaakt voor ongepland onderhoud. Deze komen voor uit *Rapporten van Onregelmatigheid (RVO's)*, meldingen van de *Operationeel Eigendomsbeheer (OEB)*, maar kunnen ook aangemaakt worden door *schouwers* met de mobiele applicatie *Advanced Mobile*. Deze werkorders worden *vervolgens ingepland door de werkvoorbereider*. Dit levert een werkmap op met registratieformulieren voor de hoofdmonteurs en input voor het werkrooster in de planningsapplicatie

ORTEC. Vervolgens kan het betreffende *liggingsonderhoud uitgevoerd worden*, waarbij aan het eind van deze activiteit de hoofdmonteur de bijgevoegde keurings-, afwijkings- en evaluatieformulieren invult en deze met de uitdraai van de stopmachine inlevert bij de uitvoerder en specialist. Indien uit het keuringsformulier blijkt dat het *liggingsonderhoud niet volgens de gestelde eisen in uitgevoerd*, wordt door de specialist Baan *een nieuwe of aangepast werkorder aangemaakt*. Indien het keuringsformulier wel goedkeuring heeft, wordt deze *gearchiveerd*, samen met de andere formulieren en werkmap en wordt de werkorder in Infor EAM afgesloten en gearchiveerd. Voor de volgende analyse met Xeiz RG worden een *lijst met afgesloten werkorders betreffende het liggingsonderhoud* van afgelopen half jaar, door de specialist Baan gestuurd naar ARCADIS. Deze lijst is vervolgens weer onderdeel van de input voor Xeiz RG.



## Bijlage 6.2

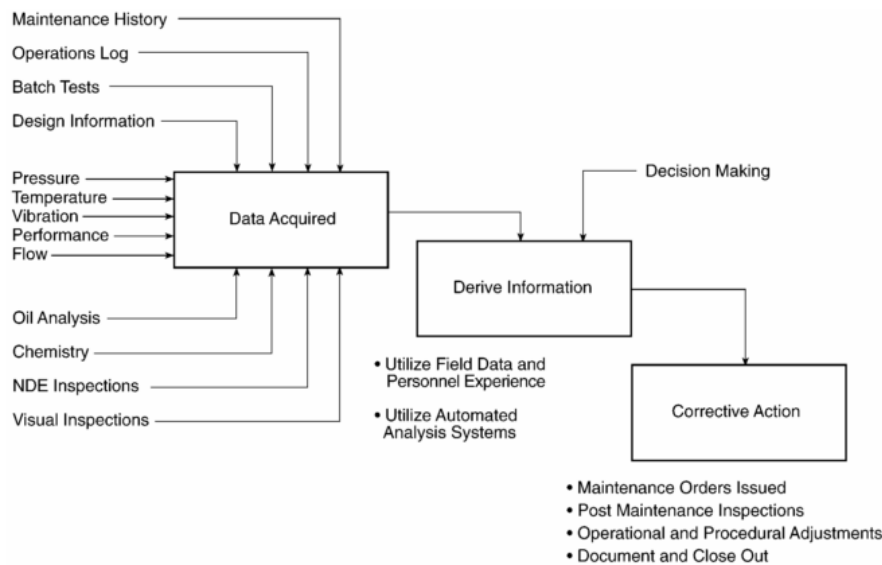
# Gewenst proces van predictief liggingsonderhoud



## Bijlage 7 Aandachtsgebieden

Hieronder is een samenvatting gegeven van het beoordelen van de toepassing van toestandsafhankelijk onderhoud volgens de IAEA (2007). Aan deze voorwaarden moet volgens de IAEA voldaan worden, wil met succesvol toestandsafhankelijk onderhoud implementeren in kerncentrales.

1. **Preventive Task Technical Basis:** Conditie monitoring voor het verzamelen van data is een kernactiviteit voor toestandsafhankelijk onderhoud. Dit moet leiden tot het kosteneffectief voorkomen van falen of voorspellen van falen. Het bepalen van de monitoringsfrequentie moet ook in overeenstemming zijn met de richtlijnen van de branche. Toestandsafhankelijk onderhoud moet geen aanvulling zijn op taken die dezelfde objectdegradatie voorkomen. Het proces van conditie monitoring moet vervolgens worden gedocumenteerd;
2. **Technology Application:** De technologie voor het objectieve monitoren moet state-of-the-art zijn en breed toepasbaar zijn. De technologie monitort bijvoorbeeld vibraties, temperatuur of geluid volgens procedures voor het verkrijgen van objectieve data.
3. **Process Flow Definition:** Conditie monitoring moet uitgevoerd worden in samenwerking met andere activiteiten in het onderhoudsproces zoals de werkplanning, de uitvoering van het onderhoud en controle voor gericht onderhoud. Met documentatie van onderhoudsprocedures moet het gehele onderhoudsproces begrijpelijk en geïnternaliseerd worden bij de betrokkenen. Visualisaties in de vorm van diagrammen laat de betrokkenen de resultaten zien van het onderhoudsproces.
4. **Programme Leadership and Coordination:** Eigenaren van de conditiemonitoringstechnologie en verantwoordelijke coördinatoren voor de kennis en prestatie van objecten moeten bekend zijn en zichtbaar toestandsafhankelijk onderhoud als onderhoudsstrategie promoten en toepassen. Niet regelgeving maar management support moet de basis zijn voor het implementeren van toestandsafhankelijk onderhoud. Het implementeren wordt namelijk lastig wanneer de medewerkers niet waarnemen dat toestandsafhankelijk onderhoud belangrijk is voor het management.
5. **Organization, Roles and Responsibilities:** De rollen en verantwoordelijkheden van personen in de activiteiten van het onderhoudsproces moet goed gedefinieerd zijn en geen ambiguïteit bevatten. Elk individu in het proces moet bewust zijn van de verantwoordelijkheid en aansprakelijkheid van zijn rol en dit ondersteunen. Training en aanstelling van consciëntieuze technici moet de kwaliteit en consistentie van de dataverzameling en verwerking waarborgen.
6. **Information Management and Communication:** Data van de conditie monitoring moeten tijdig worden ingevoerd in databases en toegankelijk worden gemaakt voor de gebruikers door gebruiksvriendelijke interfaces, zodat de benodigde acties kunnen worden bepaald (zie afbeelding C). De kern van het onderhoudsproces bestaat uit het verkrijgen van objectdata, deze omzetten in nieuwe en bruikbare informatie en het uitvoeren van gerichte acties. Software moet te updaten zijn door analisten en moet toegankelijk zijn voor verschillende gebruikers zodat een totale beoordeling van de huidige objectconditie kan worden bepaald. Geanalyseerde data en uitgevoerd onderhoud moeten worden opgeslagen in databases voor toekomstige analyses.



Abbeelding C Informatiestroom voor conditie monitoring van toestandsafhankelijk onderhoud (IAEA, 2007)

7. **Equipment Condition Assessment and Decision Making:** Data van de conditie monitoring moeten leiden tot trendanalyses. Hiervoor zijn getrainde analisten nodig die de kennis en vaardigheden hebben van de analysesoftware. Controles in het onderhoudsproces moeten zorgen voor consistente data, dat volgens de planning wordt verzameld. De toestand van objecten en de gerelateerde afwijkingen moeten gedocumenteerd worden. Het document communiceert de degradatie van de objecttoestand of ongunstige trends. Vervolgens moet duidelijk zijn wie op basis van het document de besluiten neemt voor de onderhoudsacties. De besluitvorming moet snel gebeuren zodat analisten en medewerkers tijdig onderhoudsacties kunnen toewijzen, plannen en uitvoeren. De coördinator van het onderhoudsproces moet de interactie tussen medewerkers van conditiemonitoring, analyse en uitvoering faciliteren, omdat zij afhankelijk van elkaar zijn.
8. **Training and Qualifications:** De waarde van de conditie monitoringstechnologie is afhankelijk van de datakwaliteit, de data-analyse en de interpretatie van de data. Training en certificatie verhoogt de kwaliteit van de data, analyse en interpretatie. Technici moeten ervaren, gekwalificeerd en getraind zijn om de benodigde activiteiten te kunnen uitvoeren. Indien externe personen de technologie en de resultaten gebruiken moeten ze hiervan kennis hebben.
9. **CBM Work Prioritization and Scheduling:** Dataverzameling en analyse moeten uitgevoerd worden volgens passende intervallen zodat consistente baselinewaarden en trends ontstaan. Onderhoudsacties gebaseerd op data-analyses moeten tijdig worden gepland en uitgevoerd zodat verdere degradatie van de prestatie of falen wordt voorkomen. Werkorders voor onderhoudsacties moeten worden bepaald op basis van een enkele data-punt, een trend van een parameter of een geïntegreerde afweging van verschillende parameters van een object.
10. **Work Closeout and Maintenance Feedback:** De zogenaamde tijdige en grondige *close-out* van onderhoudsacties, waarborgt dat de onderhoudsactie volgens plan is uitgevoerd, maar geeft ook informatie over het continue verbeteren van het TAO proces. Deze informatie moet eenvoudig worden vastgelegd door de onderhoudsmonteurs en gevalideerd worden door de verantwoordelijke van de uitvoering. De close-out activiteit bevat beschrijving van de *as-found* toestand en feedback hiervan naar de activiteiten in het onderhoudsproces zoals conditiemonitoring, de analyse voor eventuele wijzigingen in activiteiten.

11. **Goals and Performance Metrics:** Voor het optimaliseren van het onderhoud en operations moeten de doelstellingen en prestatie indicatoren aan de juiste activiteiten in het onderhoudsproces zijn gekoppeld. Medewerkers en verantwoordelijke van activiteiten moeten hiervan op de hoogte zijn evenals de relatie tussen de doelstellingen en de prestatie indicatoren. Mogelijke prestatie indicatoren zijn: kosten over de betrouwbaarheid en beschikbaarheid van het object; onderhoudskosten; de balans tussen ongeplande correctieve reactieve acties, geplande correctieve acties voor korte termijn falen, cyclische preventieve acties en preventieve acties resulterend uit de besluitvorming van het onderhoudsproces; en de Return On Investment (ROI) van de activiteiten in het onderhoudsproces.
12. **Calculation of Cost-Benefits and Return on Investment:** De resultaten van het toestandsafhankelijk onderhoudsproces moeten bijgehouden worden. Kosten-batenanalyses en bijdragen aan de objectprestatie moeten worden gedocumenteerd, gepubliceerd en gebruikt worden om het huidige gebruik en groei van toestandsafhankelijk onderhoud te rechtvaardigen. Het budget voor de activiteiten in het onderhoudsproces moet bekend zijn, evenals de actuele en toekomstige ROI met daaraan een jaarlijkse review van het management.
13. **Customer Satisfaction:** Het TAO proces moet leiden tot een kosteneffectieve en betrouwbare operation van de asset. De tevredenheid van de eindgebruiker en verantwoordelijke voor de kosten effectiviteit en betrouwbare operation is een maatstaf voor de effectiviteit en toekomsitige ondersteuning van TAO. Hierbij is het van belang de verwachtingen van de eindgebruiker te toesten op realisme, dat de TAO medewerkers deze verwachtingen begrijpen en dat aan deze verwachtingen wordt voldaan.
14. **Continuous Improvement:** Het proces van toestandsafhankelijk onderhoud met daarbij het voorspellen van de onderhoudsacties ontwikkeld zich continue door nieuwe kennis en technologieën. Continue verbetering van het onderhoudsproces is nodig voor het behouden van de gewenste prestaties. Daarom moet het onderhoudsproces feedbackmomenten en beoordelingselementen bevatten, zodat het zich in relatie tot de organisatie, blijft aanpassen aan de branche en de nieuwe technologieën. Een continue verbeter programma bevat: regelmatige zelfbeoordeling en reviews van prestatie indicatoren; feedback van onderhoud aan de asset, van de branche en van ervaringen met faalgedrag; reviews van de conditie monitoring en analyses voor het blijven detecteren van faalmechanismen van objecten; onderzoek naar nieuwe technologieën en toepassing hiervan binnen bestaande activiteiten in het onderhoudsproces.



## Bijlage 8 Validatie

Beste medewerker van ARCADIS en/of ASSET Rail,

Bedankt dat je mee wilt werken met het controleren van het verbetervoorstel van het liggingsonderhoud van ASSET Rail. Hierbij stuur ik het verbeterplan om gericht liggingsonderhoud te kunnen uitvoeren. Het plan laat ik valideren (controleren) door verschillende medewerkers binnen ARCADIS en ASSET Rail. De medewerkers hebben namelijk invloed op het succes van de beoogde verandering, omdat zij hierbij betrokken zullen zijn. Ook jij hebt nu dus de mogelijkheid hierop te reageren en verbeteringen voor te stellen. Hierdoor kom ik te weten of het plan leidt tot verbetering van het liggingsonderhoud.

Het bijgevoegde veranderplan bestaat uit vier onderdelen:

1. **Huidig proces van predictief liggingsonderhoud;**
2. **Gewenst proces van predictief liggingsonderhoud;**
3. **Het verbeteren van het huidige proces;**
4. **Interventies voor verandering naar het gewenste proces.**

Ik vraag je bijgevoegde document door te lezen en voor elk onderdeel antwoord te geven op de volgende vraag: **Ben je het wel of niet eens met de inhoud en waarom?**

**Graag ontvang ik de antwoorden en eventuele opmerkingen of verbeterpunten terug via de e-mail, op uiterlijk dinsdag 27 mei a.s.** De antwoorden mogen op de volgende manieren per e-mail worden aangeleverd:

- Antwoorden geschreven in de e-mail;
- Als bijlage in de e-mail, een gescand document met de opmerkingen en antwoorden geschreven in het document;
- Als bijlage in de e-mail, door opmerkingen en antwoorden digitaal te schrijven in het originele PDF document.

**Indien je bepaalde onderdelen niet begrijpt, hoor ik dat zo snel mogelijk.** Samen met de validatie wil ik over anderhalve week (1 juni) de concept-rapportage compleet hebben. De daaropvolgende definitieve versie zal door ARCADIS en ASSET Rail nog gecontroleerd worden op vertrouwelijke informatie, voordat het gepubliceerd wordt.