



RAMS en snelwegssystemen: Belangrijke invloedsfactoren en mogelijke maatregelen

Een onderzoek naar de belangrijkste invloedsfactoren op de RAMS prestatie van snelwegssystemen en mogelijke maatregelen om de RAMS prestatie van snelwegen te verbeteren

P.V. Tiemessen



UNIVERSITEIT TWENTE.



RAMS en snelwegssystemen:

Belangrijke invloedsfactoren en mogelijke maatregelen

Een onderzoek naar de belangrijkste invloedsfactoren op de RAMS prestatie van snelwegssystemen en mogelijke maatregelen om de RAMS prestatie van snelwegen te verbeteren

Afstudeerverslag

voor

3TU Masteropleiding: Construction Management & Engineering

Onderzoek uitgevoerd voor:

Organisatie: ARCADIS
Begeleider: Ing. H. (Henk) Visser

Onderzoek onderdeel van:

Organisatie: Universiteit Twente
Masteropleiding: Construction Management & Engineering
1^e begeleider: Dr. Sc. Techn. A. (Andreas) Hartmann
2^e begeleider: ir. K.Th. (Karel) Veenvliet

Onderzoek uitgevoerd door:

Auteur: P.V. (Pieter) Tiemessen BSc
Student nummer: 0071048
Datum: 2 december 2010
Status: Eindrapport



UNIVERSITEIT TWENTE.

Woord vooraf

Voor u ligt het rapport van mijn afstudeeronderzoek ter afronding van de Master Construction Management & Engineering. Het onderwerp RAMS binnen de snelweg infrastructuur is vrij nieuw en ik hoop dat mijn onderzoek een bijdrage levert aan de implementatie van de RAMS methodiek in onze branche.

Dit onderzoek had ik niet kunnen doen zonder de bijdrage van de volgende personen. Graag wil ik de mensen van ARCADIS en de afdeling Asset Management bedanken voor het bieden van een afstudeerplaats. Hierbij wil ik in het bijzonder Henk Visser bedanken voor de kans die hij me gegeven heeft om dit onderzoek uit te voeren. Ik vond onze talloze inhoudelijke gesprekken uitermate waardevol. Met je rijke ervaring in de snelweg infrastructuur heb ik flink mijn voordeel kunnen doen. Ook wil ik alle collega's bij ARCADIS bedanken voor hun interesse en de goede adviezen. Dan wil ik de participanten in dit onderzoek (Martijn Blom, Gerard Broekstra, Harm Heijmans, Ben van den Horn, Steef de Koning, Wim van de Lagemaat, Sjaak Lugtenberg, Willen van Ooijen, Jasper Schilder, Henk Visser, Hans Wacki) bedanken voor hun positieve bijdrage. Ook wil ik mijn begeleider vanuit de Universiteit Twente, Andreas Hartmann, bedanken voor zijn waardevolle tips en feedback. Ook de bijdrage van Saad Al-Jibouri en Karel Veenvliet waardeer ik zeer. Ik wil Lars Kolkman bedanken voor de koffie gedurende de lange dagen in de bibliotheek.

Met de afronding van dit onderzoek komt er tevens een einde aan mijn studententijd. Ik wil iedereen bedanken die geholpen heeft mijn studietijd tot een fantastisch feest te maken. In het bijzonder dank aan: Deenebstraat 5 voor de inhoudelijke gesprekken en gezelligheid. Vriendengroep Pallet # voor de leuke spelletjes. De Borrelcommissie voor het mogen tappen van zoveel bier. Het bestuur v.v. Drienerlo 2006-2007 voor de lange vergaderingen. Veld 5 voor de onvergetelijke dagjes uit op zaterdag.

Van deze gelegenheid wil ik ook nog gebruik maken om een paar mensen te bedanken die daadwerkelijk hebben bijgedragen aan het afronden van mijn studie. Ik wil mijn ouders bedanken, zijn hebben altijd voor mij klaar gestaan. De afronding van mijn studie is ook een prestatie van hen. Als laatste, maar niet in het minst, wil ik mijn vriendin Laura bedanken voor al haar goede zorg en de leuke tijd naast het afstuderen.

Pieter Tiemessen

Management Summary

In The Netherlands, Rijkswaterstaat is responsible for managing the highway infrastructure. Rijkswaterstaat wants to change its role in the market. It wants to listen better to the needs of the user and it wants to transfer more activities and responsibilities towards commercial parties. Therefore Rijkswaterstaat states that the implementation of a RAMS methodology in the highway infrastructure crucial. RAMS is an acronym for: Reliability, Availability, Maintainability and Safety. The consultancy company ARCADIS was asked to identify RAMS requirements for a specific highway project called A4 Delft – Schiedam. This research is commissioned by ARCADIS. In this research a highway system is defined as a highway containing a road tunnel. Also, the highway is described as a socio-technical system.

This research identified which factors have the highest influence on the RAMS performance of a highway system. These factors are:

- Choice of materials
- Road users and accidents
- Complexity of het system
- Substitutability and modularization
- Maintenance strategy, specifications and procedures.
- Human impact on the design process
- Geometry of the road
- Maintenance environment

This research contributes to a further implementation of the RAMS methodology in the highway infrastructure. It shows that a limited introduction of RAMS (only on technical subsystems), has little influence on the performance of the highway system as a whole. Therefore it is advised to apply the RAMS methodology on the system as a whole.

Recommendations for ARCADIS:

- Focus on main influence factors when improving RAMS performance.
- For a specific project with very different properties compared to the system described in this research it is advised to identify the main influence factors again.
- When ARCADIS accepts the role of Asset Manager it is valuable to implement the RAMS methodology in its own process.
- Consider the RAMS aspects integrated.
- Investigate the implementation of the measure “Involve more people with a senior position at the start of a project”.

Recommendations for Rijkswaterstaat:

- Monitor RAMS performance of relevant existing highways.
- Investigate the implementation of the measure “Same speed for all traffic” and “Do not shorten the project duration”.

Recommendations for further research:

- Further investigate possible measures that can improve the RAMS performance of a highway system.
- Further investigate how the main influencing factors can be managed strategically during all lifecycle phases.

Samenvatting

Probleemcontext

Rijkswaterstaat is beheerder van drie infrastructuurnetwerken in Nederland: het hoofdwegennet, hoofdvaarwegennet en hoofdwatersysteem. Goed beheer hiervan is zeer belangrijk. Voor Rijkswaterstaat is het van groot belang om de volgende punten inzichtelijk te hebben:

- De staat van de infrastructuurnetwerken
- Of zij veilig te gebruiken zijn
- Of zij hun functie naar behoren vervullen
- Wanneer onderhoud benodigd is

Sinds 2004 is Rijkswaterstaat bezig haar rol in de markt te veranderen. Het nieuw gestelde beleid is “focus op de gebruiker”. Rijkswaterstaat wil beter luisteren naar de wensen van de gebruiker. Daarbij wil Rijkswaterstaat steeds meer werkzaamheden aan de markt overlaten. Hierbij geldt het “markt, tenzij...” principe. Rijkswaterstaat houdt zich hierdoor minder direct dan voorheen bezig met het bouwen en onderhouden van infrastructuur. Rijkswaterstaat wil een goede en betrouwbare opdrachtgever zijn voor marktpartijen. Zij neemt hierbij een meer regisserende rol aan, waardoor er meer autonomie naar marktpartijen gaat ten aanzien van het beheer van het netwerk. Voor Rijkswaterstaat is het van groot belang dat zij in haar nieuwe rol als professioneel opdrachtgever de kwaliteit van de dienstverlening kan blijven waarborgen. Rijkswaterstaat stelt dat vanuit haar taak als netwerkbeheerder de implementatie van een RAMS methodiek voor infrastructuur cruciaal is.

RAMS is een acroniem voor:

Reliability	Betrouwbaarheid
Availability	Beschikbaarheid
Maintainability	Onderhoudbaarheid
Safety	Veiligheid

Rijkswaterstaat wil RAMS nu concreet toepassen op de snelweg infrastructuur. Er is echter weinig ervaring met het toepassen van deze methodiek op snelwegen. Ervaring met betrekking tot deze infrastructuur gaan niet verder dan technische systemen die onderdeel zijn van de infrastructuur, zoals sluizen en tunneltechnische installaties.

Onderzoeksvraag

De onderzoeksvraag die in dit onderzoek beantwoordt wordt, luidt:

- Welke factoren hebben de grootste invloed op de RAMS aspecten van een snelwegsysteem?

Afbakening

In dit onderzoek is een snelwegsysteem gedefinieerd als een snelweg met als onderdeel daarin een verkeerstunnel. Door zowel de weg als de tunnel in dit onderzoek te beschouwen kunnen de

verhoudingen tussen deze onderdelen zichtbaar gemaakt worden. Ook wordt de snelweg als socio-technisch systeem bekeken. Er worden niet alleen de technische installaties en de fysieke weg bekeken, maar ook alle andere zaken die invloed hebben op de kwaliteit en prestaties van het snelwegsysteem. Als snelwegsysteem wordt daarom het geheel gezien van:

- Wegbeheerder (verkeerscentrale)
- Weggebruiker
- Fysiek systeem van de snelweg en verkeerstunnel

Een invloedsfactor is gedefinieerd als “Een factor die de RAMS prestatie van een systeem negatief beïnvloed.”

Onderzoek

In de literatuur over RAMS zijn factoren gezocht die invloed hebben op de RAMS prestatie van een systeem. Deze factoren zijn in een persoonlijk interview voorgelegd aan 10 experts (afkomstig van RWS, ingenieursbureaus en aannemers) om zo de invloed van deze factoren op de RAMS prestatie van een snelwegsysteem te achterhalen. Vervolgens is er een design workshop gehouden over de A4 Delft – Schiedam, met 3 experts van ARCADIS. Het als doel om maatregelen te vinden die de RAMS prestatie verbeteren.

Conclusies en aanbevelingen

Met dit onderzoek is inzichtelijk gemaakt welke factoren de hoogste mate van invloed hebben op de RAMS prestatie van een snelwegsysteem. Deze factoren zijn:

- Materiaalkeuze
- Weggebruikers en incidenten
- Complexiteit van het systeem
- Vervangbaarheid en modularisering
- Onderhoudsstrategie, specificaties en procedures
- Menselijke impact op het ontwerpproces
- Geometrie van de weg
- Onderhoudsomgeving

Uit deze lijst met de belangrijkste invloedsfactoren blijkt dat de RAMS prestatie van snelwegsysteem niet louter beïnvloed wordt door de fysieke eigenschappen van het systeem. Er zijn ook andere factoren die de prestaties van snelwegsysteem in grote mate beïnvloeden.

Uit dit onderzoek blijkt dat in verhouding tot andere factoren die de prestaties van een snelwegsysteem beïnvloeden, de invloed van de technische installaties niet heel groot is. Het sturen op RAMS prestaties is daarom zeer waardevol om op het bredere systeem toe te passen.

Dit onderzoek draagt bij aan een verdere implementatie van de RAMS methodiek in de snelweginfrastructuur, doordat er wordt aangetoond dat een beperkte invoering van RAMS op alleen technische deelsystemen, maar weinig invloed heeft op de prestatie van het snelwegsysteem als geheel. Het is dus belangrijk voor RWS, of voor een marktpartij indien deze verantwoordelijk is voor

het Asset Management van een snelweg, om bij het toepassen van RAMS op snelwegen niet alleen te focussen op de technische installaties, maar om het systeem in zijn geheel te beschouwen.

Aanbevelingen voor ARCADIS:

- Bij verbeteren RAMS prestatie focussen op belangrijkste invloedsfactoren
- Bij een specifiek project wat qua eigenschappen sterk verschilt van het in dit onderzoek beschreven snelwegsysteem de belangrijkste invloedsfactoren opnieuw identificeren.
- Wanneer ARCADIS de rol van Asset Manager op zich neemt is het waardevol in het eigen proces de RAMS methodiek toe te passen.
- De RAMS aspecten moeten geïntegreerd beschouwd worden.
- Invoering van de maatregel “Mensen met een seniorfunctie inzetten bij de aanvang van een project” onderzoeken.

Aanbevelingen voor Rijkswaterstaat:

- De RAMS prestatie van bestaande relevante snelwegen monitoren.
- De invoering van de maatregelen “Eén snelheidsregime” en “De projectduur niet inkorten” onderzoeken.

Aanbevelingen voor verder onderzoek:

- Verder onderzoek verrichten naar mogelijke maatregelen die de RAMS prestatie van een snelwegsysteem kunnen verbeteren
- Verder onderzoek verrichten naar hoe de belangrijkste invloedsfactoren strategisch gemanaged kunnen worden in alle levenscyclusfases.

Inhoudsopgave

1.	Onderzoeksontwerp.....	2
1.1.	Probleemcontext.....	2
1.2.	Probleemdefinitie.....	5
2.3.	Het doel van het onderzoek	7
2.3.1.	Onderzoeksvraag.....	7
2.3.2.	Deelvragen.....	7
2.3.3.	Scope	7
2.4.	Onderzoeksontwerp.....	9
2.4.1.	Onderzoeksstrategie	9
2.4.2.	Operationeel onderzoeksmodel.....	10
2.5.	Limitaties	15
3.	RAMS methodiek en RAMS aspecten.....	16
3.1.	Inleiding	16
3.2.	RAMS	18
3.3.	Beschrijving RAMS aspecten	18
3.3.1.	Falen	19
3.3.2.	Betrouwbaarheid.....	21
3.3.3.	Beschikbaarheid	23
3.3.4.	Onderhoudbaarheid	25
3.3.5.	Veiligheid	27
3.4.	Ontwikkeling van RAMS	29
3.5.	Focus op technische systemen.....	30
4.	Factoren die de RAMS prestatie beïnvloeden.....	32
4.1.	Invloedsfactoren afkomstig uit literatuur	32
4.1.1.	Context van invloedsfactoren in literatuur	32
4.1.2.	Mate van invloed onduidelijk.....	32
4.1.3.	Overzicht factoren literatuur.....	32
4.1.4.	Snelwegsysteem verschilt van systemen in literatuur	33
4.2.	Definities invloedsfactoren	35
5.	Invloedsfactoren RAMS prestatie snelwegsysteem	41
5.1.	Inleiding	41

5.2.	Snelwegsysteem	41
5.3.	Belangrijkste invloedsfactoren	42
5.3.1.	Bespreking belangrijkste invloedsfactoren	43
5.4.	Opvallende resultaten ten opzichte van literatuur	46
5.5.	Invloed per levenscyclusfase	47
6.	Mogelijke maatregelen.....	48
6.1.	Case study Design Workshop	48
6.2	Case omschrijving A4DS	48
6.2.1.	Ruimtelijke inpassing.....	48
6.2.2.	Marktbenadering.....	48
6.3.	Bevindingen workshop.....	49
6.3.1.	Kleine verschillen tussen A4DS en generieke snelweg.....	49
6.3.2.	Mogelijke maatregelen.....	50
7.	Conclusies en aanbevelingen	52
8.	Literatuurlijst	57

Lijst met figuren en tabellen

Figuur 1: A4 Delft - Schiedam	4
Figuur 2: Reflectieve en regulatieve cirkel	9
Figuur 3: Operationeel onderzoeksmodel.....	11
Figuur 4: Case study A4DS.....	14
Figuur 5: Kwaliteit van de dienstverlening en RAMS (CENELEC, 1999).....	17
Figuur 6: Relatie tussen RAMS aspecten (CENELEC, 1999)	18
Figuur 7: Fysiek falen.....	19
Figuur 8: Normfalen	20
Figuur 9: Badkuipmodel (Rijkswaterstaat, 2009)	21
Figuur 10: MTBF, MTTR en MTTF (Kawauchi & Rausand, 1999).....	22
Figuur 11: Stijgende investeringskosten bij verdere verhoging van de beschikbaarheid (Zoeteman & Braaksma, 2001).....	24
Figuur 12: De relatie tussen beschikbaarheid en de kosten van een systeem (Tsai, 2005).....	25
Figuur 13: Faalniveau, correctief en preventief onderhoud	26
Figuur 14: snelwegsysteem	42
Tabel 1: Veiligheidsthema's.....	28
Tabel 2: Overzicht RAMS literatuur	31
Tabel 3: Aanwezigheid van invloedsfactoren op RAMS in literatuur	34
Tabel 4: invloedsfactoren met de hoogste mate van invloed op RAMS prestatie van een snelwegsysteem	42
Tabel 5: Vaakst genoemde invloedsfactoren literatuur	46
Tabel 6: belangrijkste invloedsfactoren en invloed per levenscyclusfase	47
Tabel 7: Managen invloedsfactoren.....	51
Tabel 8: Managen invloedsfactoren afwegen	51
Tabel 9: Factoren met de hoogste mate van invloed op RAMS prestatie van een snelwegsysteem ...	52

Lijst met afkortingen

A4DS	snelweg A4 tussen Delft en Schiedam
D&C	Design & Construct
ETA	Event Tree Analysis
FMECA	Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis
FTA	Fault Tree Analysis
KBA	Kosten Baten Analyse
LCC	Life-Cycle Costs
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability, Safety (betrouwbaarheid, beschikbaarheid, onderhoudbaarheid, veiligheid)
RWS	Rijkswaterstaat
SE	Systems Engineering
VE	Value Engineering
VS	Vraagspecificatie

Introductie

Voor u ligt mijn afstudeerrapport over de RAMS aspecten van snelwegssystemen. In verschillende stappen wordt het onderzoek doorgenomen. Dit rapport is opgebouwd uit 8 hoofdstukken. Samen beschrijven de hoofdstukken de theoretische achtergrond, de werkwijze en de conclusies van dit onderzoek. In hoofdstuk 2 wordt het onderzoeksontwerp gepresenteerd. In hoofdstuk 3 wordt de RAMS methodiek beschreven en de RAMS aspecten gedefinieerd. Vervolgens worden in hoofdstuk 4 de invloedsfactoren uit de literatuur besproken. In hoofdstuk 5 worden de factoren met de hoogste mate van invloed op de RAMS prestatie van een snelwegsysteem weergegeven. In hoofdstuk 6 worden manieren besproken om de invloedsfactoren te managen. Hoofdstuk 7 bestaat uit de conclusies en aanbevelingen. Hoofdstuk 8 bevat de literatuurlijst.

1. Onderzoeksonderwerp

Dit hoofdstuk, waarin ik mijn onderzoeksonderwerp presenteer, is opgebouwd aan de hand van de onderzoeksmethodiek van Van Aken, Berends, & Van der Bij (2007). In bepaalde situaties zijn hier onderdelen van de onderzoeksmethodieken van Kumar (1999) en Verschuren & Doorewaard (2005) aan toegevoegd. Wanneer dit het geval is wordt direct naar deze bronnen verwezen. Omtrent de inhoud en uitwerking van de onderzoeksmethodieken verwijs ik naar de desbetreffende paragrafen in dit hoofdstuk. In dit hoofdstuk worden achtereenvolgens de volgende onderdelen besproken: probleemcontext, probleemdefinitie, conceptueel onderzoeksmodel, het doel van het onderzoek (onderzoeksvraag, deelvragen en scope), het onderzoeksonderwerp (operationeel onderzoeksmodel) en problemen en limitaties.

1.1. Probleemcontext

In deze paragraaf wordt de context van dit onderzoek geschetst. Rijkswaterstaat is beheerder van drie infrastructuurnetwerken in Nederland: het hoofdwegennet, hoofdvaarwegennet en hoofdwatersysteem. Als netwerkbeheerder heeft Rijkswaterstaat zich onder andere de kerntaken gesteld (Rijkswaterstaat, 2008):

- Het werken aan een goed onderhouden, veilige en toekomstbestendige infrastructuur
- Werken aan vlotte, veilige verkeersdoorstroming

Als netwerkbeheerder is het voor Rijkswaterstaat van groot belang om de volgende punten inzichtelijk te hebben (Rijkswaterstaat, 2009):

- De staat van de infrastructuurnetwerken
- Of zij veilig te gebruiken zijn
- Of zij hun functie naar behoren vervullen
- Wanneer onderhoud benodigd is

Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor 3260 km aan rijkswegen (Rijkswaterstaat, 2008). De totale kapitaalgoederenvoorraad aan civiele objecten in Nederland wordt geschat op honderden miljarden euro's (Dekker & van Noortwijk, 2001). Dit maakt het belang van goed beheer hiervan ook vanuit financieel oogpunt belangrijk.

Goedkoper werken. Luisteren naar de wensen van het publiek. Een goede en betrouwbare opdrachtgever zijn voor marktpartijen. De eigen organisatie op orde hebben. Dit zijn de thema's waar Rijkswaterstaat al sinds 2004 hard aan werkt (Rijkswaterstaat, 2008). Hiervoor is Rijkswaterstaat bezig haar rol in de markt te veranderen. Het nieuw gestelde beleid is "focus op de gebruiker" (Rijkswaterstaat, 2008). Rijkswaterstaat wil beter luisteren naar de wensen van de gebruiker. Belangrijkste punten zijn: de doorstroming van het verkeer, betere informatievoorziening en meer samenwerken met de beheerders van andere (vaar)wegen en marktpartijen. Daarbij wil Rijkswaterstaat steeds meer werkzaamheden aan de markt overlaten. Hierbij geldt het "markt, tenzij..." principe. Rijkswaterstaat wil een goede en betrouwbare opdrachtgever zijn voor marktpartijen (professioneel opdrachtgever). Rijkswaterstaat houdt zich hierdoor minder direct dan voorheen bezig met het bouwen en onderhouden van infrastructuur. Zij neemt hierbij een meer regisserende rol aan, waardoor er meer autonomie naar marktpartijen gaat ten aanzien van het beheer van het netwerk. Voor Rijkswaterstaat is het van groot belang dat zij in haar nieuwe rol als professioneel opdrachtgever de kwaliteit van de dienstverlening kan blijven waarborgen.

Rijkswaterstaat (2009) stelt dat vanuit haar taak als netwerkbeheerder de implementatie van een RAMS methodiek voor infrastructuur cruciaal is.

RAMS is een acroniem voor:

Reliability	Betrouwbaarheid
Availability	Beschikbaarheid
Maintainability	Onderhoudbaarheid
Safety	Veiligheid

Aan de hand van deze vier eigenschappen zijn voor vrijwel elke functie van een systeem de belangrijkste prestaties te beschrijven, te bepalen en te monitoren (Rijkswaterstaat, 2009). RAMS prestaties beschrijven met welke kwaliteit een systeem zijn functie kan vervullen. Inzicht in de RAMS prestaties is dan ook essentieel voor systemen met een belangrijke functie (Rijkswaterstaat, 2009).

Om tot een kwantificering van de RAMS parameters te komen wordt nagegaan hoe groot het risico van falen van systeemonderdelen is (kans) en hoe groot het gevolg van het falen is (effect). Dergelijke waarden kunnen vergeleken worden met de gewenste waarden van Rijkswaterstaat. Met de RAMS methodiek kan onderzocht worden hoe tegen de laagst mogelijke kosten het risico van falen en het gevolg hiervan beïnvloed kan worden.

RAMS is een specifieke aanpak die deel uitmaakt van een kwaliteitsmanagementsysteem of verbetercyclus (Rijkswaterstaat, 2009). RAMS heeft een sterke relatie met generieke principes van System Engineering (SE) en Asset Management (AM), welke al toegepast worden door Rijkswaterstaat. Inzicht in de RAMS prestaties is nodig bij het opstellen van ontwerpspecificaties. Bij het afwegen van varianten worden keuzemethodieken zoals Life Cycle Costing (LCC), Value Engineering (VE) en Kosten Baten Analyse (KBA) toegepast, waarvoor ook de RAMS prestaties relevant zijn.

Rijkswaterstaat wil RAMS nu concreet toepassen op de snelweg infrastructuur. Er is echter weinig ervaring met het toepassen van deze methodiek op snelwegen. Ervaring met betrekking tot deze infrastructuur gaan niet verder dan technische systemen die onderdeel zijn van de infrastructuur, zoals sluizen en tunneltechnische installaties. Op een andere vorm van infrastructuur, namelijk het spoor, wordt RAMS al wel sinds enkele jaren toe gepast.

Een actueel en belangrijk project voor Rijkswaterstaat op dit moment is de realisatie van de A4 tussen Delft en Schiedam (A4DS). De locatie van deze snelweg is weergegeven in Figuur 1. Er ging een lange geschiedenis aan vooraf, voordat in september 2009 gekozen is voor dit alternatief door de ministers Eurlings (Verkeer en Waterstaat) en Cramer (Milieu en Ruimte). Al in de jaren '50 bestonden er plannen voor een tweede snelweg (de A13 is de eerste) tussen Den Haag en Rotterdam. In 1965 werd zelfs het Tracébesluit hiervoor genomen. Vanwege fel verzet van de regio en in later stadium het niet voor handen zijn van een haalbare oplossing, is deze snelweg er nooit gekomen.



Figuur 1: A4 Delft - Schiedam

De 8 km snelwegsectie dat aangelegd moet gaan worden, zal gaan bestaan uit een gedeelte open weg, een gedeelte verdiepte ligging (open bak) en een gedeelte tunnel. Het project zal aanbesteed worden in de vorm van een Design & Construct (D&C) contract. Na afloop van de realisatiefase komt de snelweg weer in handen van Rijkswaterstaat. Zij is vervolgens verantwoordelijk voor het beheer en onderhoud. Rijkswaterstaat heeft besloten om gedeeltelijk de RAMS methode toe te passen op het A4DS project. De RAMS methode wordt geïntroduceerd in het project bij het schrijven van de uitvraag van het D&C contract.

In lijn met haar huidige beleid heeft Rijkswaterstaat de hulp van de markt ingeschakeld bij dit project. Het ingenieursbureau ARCADIS heeft van Rijkswaterstaat de opdracht gekregen om de vraagspecificatie (VS) voor het contract tussen Rijkswaterstaat en de opdrachtnemer te schrijven aangaande het ontwerp en de bouw van de A4DS. Hierbij heeft ARCADIS ook de opdracht gekregen voor het schrijven van het integraal RAM-plan, het RAM programma, en het veiligheidsplan. Dit integrale RAM plan focust op het verwerven van de RAM eisen van de A4DS. In het RAM programma worden de procesmatige eisen van de RAM activiteiten beschreven. Met het veiligheidsplan worden alle veiligheidseisen voor de A4DS zichtbaar gemaakt.

Verschillende redenen liggen ten grondslag aan het besluit van Rijkswaterstaat om het veiligheidsplan losstaand ten opzichte van het RAM-plan te schrijven. Tunnelveiligheid is momenteel een hot item in Nederland en er wordt dus met veel interesse gekeken naar hoe er met het tunnelveiligheidsvraagstuk bij de A4DS omgegaan wordt. Er is Rijkswaterstaat veel aan gelegen om het project binnen de door de minister gestelde tijdsperiode af te ronden. De korte doorlooptijd van het project en de aanscherping van de tunnelveiligheidswet maken het gecompliceerd om aan alle veiligheidseisen te voldoen. Bijkomend probleem was dat in het project de informatievoorziening

voor het veiligheidsplan achterbleef bij die van het RAM-plan, en als gevolg was het niet mogelijk om RAMS integraal te bekijken. Er is als gevolg van de risicobeheersing vanuit het proces van Rijkswaterstaat besloten om de veiligheidseisen voor deze keer losstaand te onderzoeken. Rijkswaterstaat heeft aangegeven dat de veiligheid echter niet los gezien moet worden ten opzichte van de andere aspecten van RAMS.

Binnen ARCADIS is de afdeling Asset Management verantwoordelijk voor het schrijven van het RAM-plan. In deze context is er vanuit ARCADIS de wens om meer inzicht te verkrijgen in de RAMS methodiek bij snelweg infrastructuursystemen.

ARCADIS is een toonaangevende, wereldwijd actieve, kennisgedreven onderneming met 14.000 medewerkers en een omzet van €1,7 miljard per jaar. Het levert design-, advies- en ingenieursdiensten aan klanten uit de private en publieke sector in binnen- en buitenland. ARCADIS is actief op de gebieden van Gebouwen, Milieu & Ruimte, Mobiliteit, Water (ARCADIS, 2009).

De afdeling Asset Management houdt zich bezig met de functionele benadering van de infrastructuur van de klant, om van daaruit de activiteiten van de organisatie te beheren. ARCADIS ondersteunt vele opdrachtgevers in Asset Management of in de ontwikkeling van beheer en onderhoud.

1.2. Probleemdefinitie

Volgens Van Aken, Berends, & Van der Bij (2007) is de probleemdefinitie niet een gegeven, maar een keuze van de onderzoeker samen met andere belanghebbenden. In het algemeen kan een probleem omschreven worden als een stand van zaken in de praktijk, waarover belangrijke belanghebbenden ontevreden zijn en waar ze denken dat zaken verbeterd kunnen worden, binnen een aanvaardbare tijdsperiode en met aanvaardbare inzet van middelen. Het onderzoeksprobleem, wat uit meerdere punten bestaat, wordt hierna beschreven.

De RAMS prestaties beschrijven de belangrijkste gebruiksprestaties voor snelwegen. Het toepassen van de RAMS methodiek op de infrastructuur van snelwegsystemen is echter nieuw. Bij het analyseren van de RAMS prestaties wordt veelal de nadruk gelegd op de invloed van technische systemen op deze RAMS prestaties. Uit een analyse van de wetenschappelijke literatuur over RAMS (Zie Tabel 2 op bladzijde 31) blijkt dat veel onderzoeken zich toespitsen op technische systemen. Ook bij RAMS analyses van infrastructuur wordt de nadruk gelegd op de technische systemen en installaties. Uit de bestudering van de resultaten van de RA(MS) analyses bij de KOSMOS tunnels¹, blijkt dat deze tunnels maar 2 tot 8 uur per jaar gesloten zijn als gevolg van defecten aan tunneltechnische componenten. Van de Westerschelde tunnel is bekend dat deze een beschikbaarheid heeft gehaald van 96,78% (Pallandt, 2009). Dit komt neer op een niet-beschikbaarheid van 282 uur per jaar. Hieruit kan worden geëxtrapoleerd dat de relatieve bijdrage van falen van technische componenten maar 0,7% tot 2,8% is. De bijdrage van het falen van technische installaties op de niet-beschikbaarheid is dus klein ten opzichte van de totale niet-beschikbaarheid. Er zijn dus nog andere factoren die een grote invloed hebben op de niet-beschikbaarheid. Op dit moment is nog vaak onduidelijk welke factoren dat zijn en hoe groot de invloed hiervan is. Het toepassen van de RAMS systematiek op snelwegsystemen kan hierdoor

¹ In 2009 is er voor 7 snelwegtunnels in de provincies Zuid-Holland en Zeeland een RA(MS) analyse uitgevoerd. De invloed van de technische onderdelen en installaties op de RA(MS) prestaties van het systeem zijn berekend.

onvolledig worden uitgevoerd. Niet alleen de beschikbaarheid van een systeem is van belang, immers de vier aspecten van RAMS samen beschrijven de primaire prestaties van een systeem. Ook voor de andere drie aspecten van RAMS is vaak niet duidelijk wat de prestatie van deze aspecten beïnvloedt.

Bij machines, installaties of producten is relatief eenvoudig vast te stellen wat de oorzaak van het falen is. RAMS prestaties van deze systemen worden ook relatief eenvoudig ontworpen. Weginfrastructuur is doorgaans anders dan een machine, installatie of product. Enkele eigenschappen die hier aan bijdragen zijn de vele raakvlakken met de omgeving en de beïnvloeding van het systeem door gebruikers. Bij een incident kan het zijn dat het systeem nog fysiek volledig intact is, maar dat een voertuig het gebruik ervan blokkeert. Niet alleen het falen van systeemonderdelen bepaald hier dus de RAMS prestatie, maar ook andere factoren hebben hier invloed op. Daarbij komt dat de RAMS prestaties van een snelwegstelsel een multidisciplinair gebied is. Veel verschillende vakgebieden hebben invloed op de kwaliteit van het systeem. Er is kennis van veel verschillende vakgebieden nodig. Hierdoor blijft vooralsnog ook onduidelijk hoe groot de invloed van vakgebieden ten opzichte van elkaar is en vindt soms een eenzijdige kijk op het systeem plaats.

Het is dus van belang meer inzicht te krijgen in welke factoren de RAMS prestatie van een snelwegstelsel beïnvloeden. Voor zowel Rijkswaterstaat als voor ARCADIS is een generiek onderzoek naar dit probleem van belang. Doordat de aspecten van RAMS ook elkaar sterk beïnvloeden, dienen ze integraal beschouwd te worden.

Een van de belangrijkste doelstellingen van Rijkswaterstaat is het garanderen van vlot en veilig verkeer (Rijkswaterstaat, 2008). Rijkswaterstaat wil de service aan de weggebruiker verbeteren. De belangrijkste gebruiksprestaties die altijd door de wegbeheerder Rijkswaterstaat verbeterd wil worden is de beschikbaarheid. Elke voorkomen afsluiting van rijbanen draagt bij aan een betere service voor de weggebruiker. Rijkswaterstaat wil de service verbeteren en zal derhalve de prestatie van de snelwegsystemen dienen te verbeteren. Hierdoor is het managen van de belangrijkste invloedsfactoren op de primaire prestaties van het systeem van groot belang.

Niet alleen het verkrijgen van een generiek inzicht in de belangrijkste invloedsfactoren op de RAMS prestatie van snelwegsystemen is dus van belang, ook hoe deze invloedsfactoren gemanaged en beïnvloed kunnen worden is uitermate belangrijk. Hierbij speelt ook de vraag wanneer in de levenscyclus van het systeem deze factoren aangestuurd moeten worden.

De probleemdefinitie luidt als volgt:

- Weinig generiek inzicht in de factoren die de RAMS prestaties van een snelwegstelsel beïnvloeden.
- Onduidelijk hoe en wanneer de invloedsfactoren op de RAMS prestatie van snelwegsystemen beïnvloed kunnen worden, zodat de prestatie van snelwegsystemen zal verbeteren.

2.3. Het doel van het onderzoek

Het doel van het onderzoek is het oplossen of bijdragen aan de oplossing van het onderzoeksprobleem, door het beantwoorden van de onderzoeksvraag. De onderzoeksvraag is een vertaling van het onderzoeksprobleem in een vraag. Met behulp van een conceptueel onderzoeksmodel (zie bijlage 2A) is al een globaal overzicht gegeven van de verschillende stappen in het onderzoek. Deze worden hier verder uitgewerkt in een onderzoeksvraag en deelvragen.

2.3.1. Onderzoeksvraag

Welke factoren hebben de grootste invloed op de RAMS aspecten van een snelwegsysteem?

2.3.2. Deelvragen

1. Hoe dienen de RAMS aspecten gedefinieerd te worden voor een snelwegsysteem en op welke schaalverdeling dient de mate van invloed van een invloedsfactor op een snelwegsysteem aangegeven te worden?
2. Welke factoren worden genoemd in de literatuur die de RAMS prestatie van een systeem kunnen beïnvloeden en hoe kunnen de factoren gegroepeerd worden, zodat er een werkbare lijst met invloedsfactoren ontstaat?
3. Wat zijn de belangrijkste factoren die de RAMS prestatie van een snelwegsysteem beïnvloeden?
4. Wat is de invloed van de belangrijkste generieke invloedsfactoren op het specifieke systeem van de A4DS en hoe zijn mogelijke verschillen tussen een generiek systeem en de A4DS te verklaren?
5. Hoe en wanneer kunnen de belangrijkste invloedsfactoren op de RAMS prestatie van een snelwegsysteem beïnvloed worden (mogelijke maatregelen), zodat de RAMS prestatie verbeterd?

2.3.3. Scope

Een duidelijke omschrijving van de scope van het onderzoek is belangrijk voor de reproduceerbaarheid van het onderzoek (Van Aken, Berends, & Van der Bij, 2007). Dit onderzoek zal zich richten op snelwegsysteem met als onderdeel een verkeerstunnel. Er wordt een generiek onderzoek gedaan afgebakend op dit type systeem. De combinatie tussen tunnel en snelweg is uitermate interessant, vanwege de hoge complexiteit, de vele raakvlakken en de extra (veiligheids)eisen die er aan gesteld worden. Het kan zijn dat de RAMS prestatie van dit samengestelde systeem een som is van de prestaties van de individuele systemen. Het kan echter ook zo zijn dat de verschillende systemen elkaar beïnvloeden.

Snelweg als socio-technisch systeem

Een snelwegsysteem kan op meerdere manieren bekeken worden. Een snelwegsysteem is enerzijds een technisch systeem, wat bestaat uit de fysieke weg met al haar componenten (asfalt, geleide rail, lantaarnpalen). Anderzijds is het een socio-technisch systeem.

Veel van de wetenschappelijke literatuur over RAMS is afkomstig uit andere industrieën dan de infrastructuur, zoals de machinebouw en de productie industrie. In deze literatuur worden vooral technische systemen beschreven.

In de probleemcontext en de probleefdefinitie is al gedeeltelijk beschreven dat een snelwegsysteem verschilt van een machine of een product. Er zijn veel meer factoren die de prestatie van

snelwegstelsysteem beïnvloeden. RWS redeneert bijvoorbeeld bij het stellen van haar doelen zelfs al vanuit de gebruiker.

Enkele kenmerken van een snelwegstelsysteem zijn dat er binnen het stelsysteem interactie is tussen:

- Het technische stelsysteem
- Operationele processen, bediening
- De gebruikers van het stelsysteem

Deze kenmerken maken het een socio-technisch stelsysteem. Een socio-technisch stelsysteem wordt gekenmerkt door:

1. Eigenschappen van het stelsysteem zijn afhankelijk van de componenten en hun relaties.
2. Het stelsysteem is niet deterministisch. Er is niet altijd dezelfde output bij gelijkwaardige input. Het stelsysteemgedrag is deels afhankelijk van menselijk handelen.
3. Er zijn complexe relaties met organisationele doelstellingen, oftewel de prestatie eisen die aan het stelsysteem gesteld worden. De mate waarin het stelsysteem aan die prestatie eisen voldoet, is niet alleen afhankelijk van stelsysteem zelf.

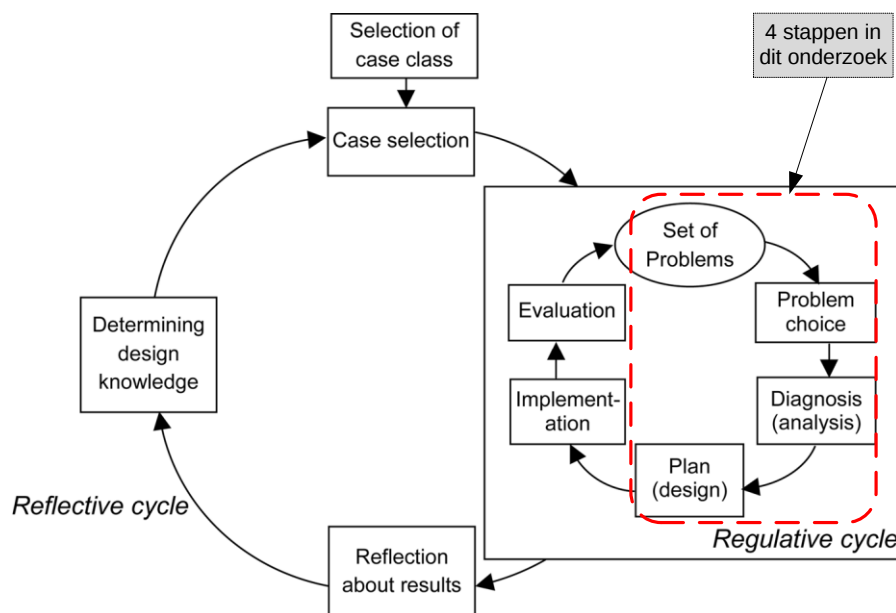
Invloed tijdens gebruiksfase

Als we het hebben over de invloed van factoren op de RAMS prestatie, dan wordt er gesproken over de prestaties van het stelsysteem tijdens de gebruiksfase in de levenscyclus. Factoren kunnen haar invloed op het stelsysteem uitoefenen in de initiatief-, ontwerp-, bouw- en gebruiksfase (inclusief beheer en onderhoud). Echter gaat het er hierom of de factoren de uiteindelijke prestatie van het stelsysteem in de gebruiksfase beïnvloeden. Dat is immers de plek waar de RAMS prestatie er toe doet voor de gebruiker. In elke levenscyclusfase zijn er invloedsfactoren die de RAMS prestatie tijdens de gebruiksfase beïnvloeden. Bij de vraag hoe en wanneer de invloedsfactoren gemanaged kunnen worden zullen vanzelfsprekend ook al deze levenscyclusfases beschouwd worden. Er wordt niet alleen naar bestaande systemen gekeken, maar ook naar nieuwe projecten. Maatregelen kunnen dus gelden voor de initiatief-, ontwerp-, bouw- en gebruiksfase van nieuwe projecten, en voor de gebruiksfase van bestaande snelwegen. Het doel van het managen van de belangrijkste invloedsfactoren is natuurlijk wel dat de RAMS prestatie van het stelsysteem tijdens de gebruiksfase wordt verbeterd.

Het is interessant om het onderzoek vooral te richten op factoren buiten de invloedssfeer van financiën, wetgeving en ontwerprichtlijnen, omdat dit vaak randvoorwaarden zijn. Echter voor het totale overzicht van welke factoren de prestatie beïnvloeden is het juist interessant om deze ook mee te nemen.

Alle 4 RAMS aspecten worden meegenomen in het onderzoek, om zo ook de samenhang tussen de aspecten mee te nemen. Rijkswaterstaat vindt de integrale aanpak van de RAMS aspecten van groot belang (Rijkswaterstaat, 2009). Een eenzijdige kijk naar een enkel aspect kan een vertekend beeld geven, omdat geen rekening wordt gehouden met de invloed op de andere aspecten. Alleen de factoren die invloed kunnen hebben op de RAMS aspecten zullen meegenomen worden in dit onderzoek.

Vier stappen van de regulatieve cirkel



Figuur 2: Reflectieve en regulatieve cirkel

Met dit onderzoek worden de eerste vier stappen van de regulatieve cirkel (Van Aken, Berends, & Van der Bij, 2007) doorlopen, welke een onderdeel is van de reflectieve cirkel (zie Figuur 2). De laatste stap in dit onderzoek is het aangeven van mogelijke manieren om de invloedsfactoren te beïnvloeden. In dit onderzoek zal de oplossing dus nog niet geïmplementeerd worden. Dit is een mogelijke vervolgstap. Hierbij zal deze implementatie ook geëvalueerd moeten worden, om zo de gehele regulatieve cyclus te doorlopen.

2.4. Onderzoeksontwerp

In deze paragraaf zal het onderzoeksontwerp gepresenteerd worden. Eerst wordt de onderzoeksstrategie beschreven, daarna zal in detail het operationeel onderzoeksmodel volgen.

2.4.1. Onderzoeksstrategie

Onder een onderzoeksstrategie wordt verstaan: Een geheel van met elkaar samenhangende beslissingen over de wijze waarop het onderzoek uitgevoerd gaat worden. De onderzoeksstrategie van dit onderzoek zal, naast een literatuuronderzoek en een analyse van documentatie uit de praktijk van de snelweg infrastructuur, bestaan uit analyses door experts en een case study. In de hier volgende paragraaf zal de keuze hiervoor verder verduidelijkt worden.

Analyses door experts

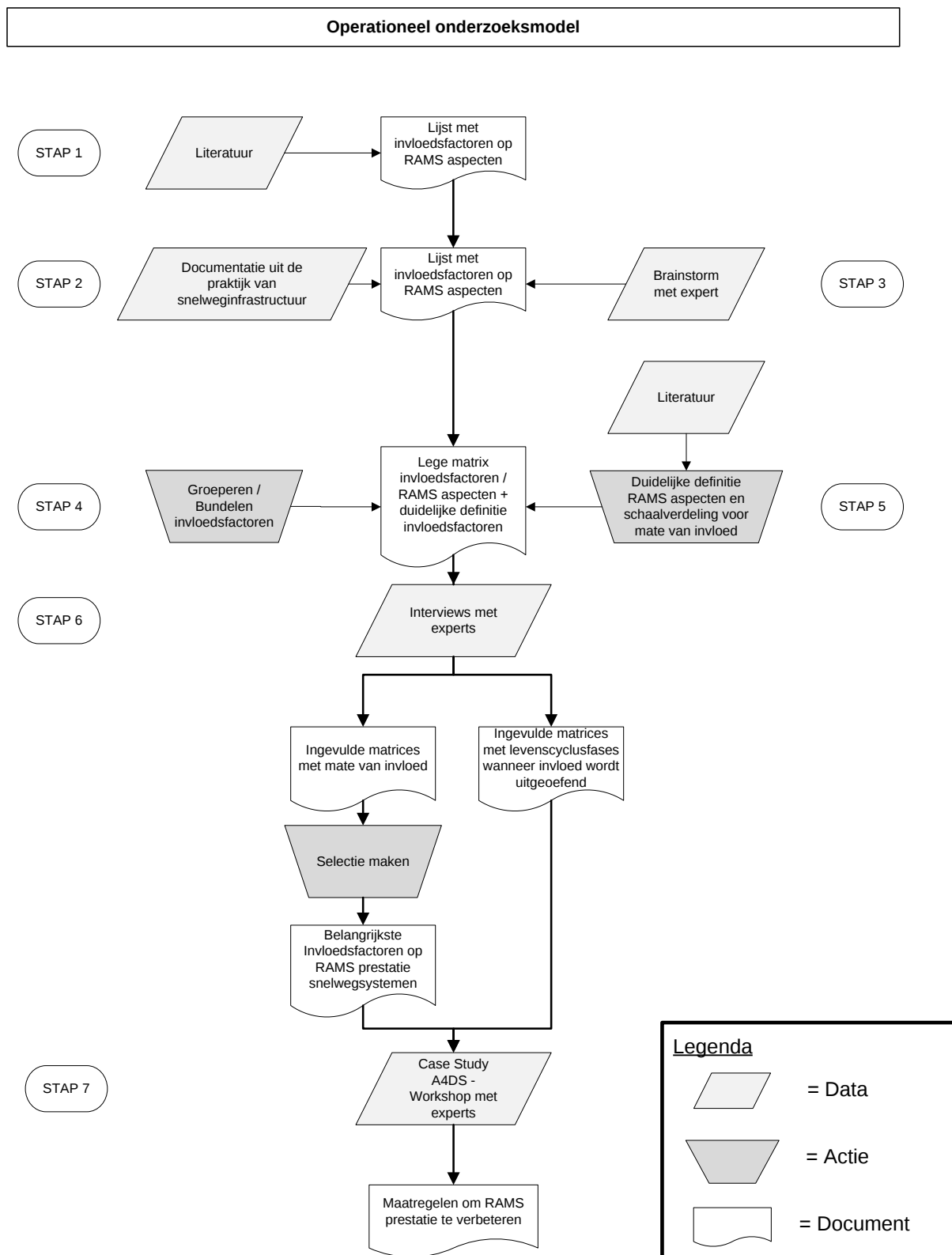
Een waardevol instrument om informatie in te winnen is door middel van experts. In dit onderzoek hebben de experts op basis van hun ervaringen met weginfrastructuur projecten de gestelde vragen beantwoord. Door de beperkte beschikbaarheid van experts is het niet mogelijk de experts vaker dan één keer te interviewen. Hierdoor is het gebruik van een methode als de Delphi methode (Skulmoski & Hartman, 2007), waarbij experts in meerdere rondes geïnterviewd worden, niet mogelijk.

Case study

Een case study zal uitgevoerd worden om zo de generieke onderzoeksresultaten te testen aan de hand van een specifieke case. In een case study kan daarnaast projectspecifieke informatie naar voren komen die een verder inzicht kan geven in het onderzoeksonderwerp. Ook kan er met meer diepte en detail naar de vragen gekeken worden. Het geeft tevens inzicht in hoeverre de resultaten context afhankelijk zijn.

2.4.2. Operationeel onderzoeksmodel

In dit onderdeel zullen de onderzoeksstappen beschreven worden. Een eigenschap van een goed onderzoeksontwerp is dat het de details duidelijk beschrijft. Hierdoor wordt de reproduceerbaarheid van het onderzoek groter (Kumar, 1999). De verschillende onderzoeksstappen zijn weergegeven in een operationeel onderzoeksmodel (Van Aken, Berends, & Van der Bij, 2007) in Figuur 3. Hierna volgt een gedetailleerde beschrijving van de onderzoeksstappen. Elke volgende stap zal voortborduren op de informatie verkregen in de stap ervoor.



Figuur 3: Operationeel onderzoeksmodel

Stap 1

Door middel van een literatuurstudie factoren selecteren die invloed hebben op de RAMS aspecten. Dit zijn factoren die de RAMS prestatie van het systeem beïnvloeden. Hieronder zijn de literatuurgebieden beschreven die verkend zijn om de tot de benodigde informatie te komen. Sommige onderzoeksgebieden hebben niet een directe link met de snelweg infrastructuur, maar omdat binnen deze gebieden wel vaak RAMS wordt toegepast is het relevant om deze te beschouwen.

- Betrouwbaarheidsmanagement
- Onderhoudsmanagement
- Werktuigbouwkunde
- Life Cycle Costing management
- Product management
- RAM optimalisatie management
- Ontwerp management

Informatie: Literatuurstudie

Product: Een lijst met invloedsfactoren op de RAMS aspecten.

Stap 2

Door middel van een analyse van projectdocumentatie uit de praktijk van de snelweg infrastructuur (nieuwbouwprojecten snelwegen, leidraden etc.) de lijst met invloedsfactoren waarnodig uitbreiden.

Informatie: Documentatie uit de praktijk van de snelweg infrastructuur.

Product: Een uitgebreide lijst met invloedsfactoren op de RAMS-aspecten.

In bijlage 4A worden de factoren besproken die invloed hebben op de RAMS prestatie van een systeem afkomstig uit de literatuur. In bijlage 4B worden de invloedsfactoren uit de literatuur per RAMS aspect en vervolgens per literatuurbron opgesomd.

Stap 3

Door middel van een brainstorm met een expert op het gebied van snelwegen factoren benoemen die de RAMS prestatie van een snelweg kunnen beïnvloeden.

Informatie: Brainstorm met expert op het gebied van snelwegen.

Product: Een uitgebreide lijst met invloedsfactoren op de RAMS-aspecten.

Stap 4

Het groeperen en bundelen van invloedsfactoren aan de hand van een framework. Dit resulteert in een compacte lijst van invloedsfactoren. Hierbij worden duidelijke definities opgesteld voor de invloedsfactoren.

In bijlage 4C wordt beschreven hoe het extraheren en groeperen van invloedsfactoren uit literatuur is verricht.

Informatie: Literatuur

Product: Compacte lijst van invloedsfactoren met bijbehorende definities.

Stap 5

Door middel van een analyse van de literatuur definities opstellen voor de RAMS aspecten. Ook zal er een schaalverdeling gemaakt worden waarop de invloed van een factor op de RAMS prestatie van een snelweg kan worden aangegeven.

Informatie: Literatuur

Product: definitie RAMS aspecten + schaalverdeling voor aangeven van de mate van invloed

Stap 6

In deze stap zal informatie van experts gevraagd worden. De experts die voor dit onderzoek in aanmerking komen zijn druk bezette personen. Het zal onmogelijk zijn om met meerdere experts tegelijk een samenkost te plannen. Gezien deze randvoorwaarde is er voor gekozen om de experts in principe individueel te interviewen.

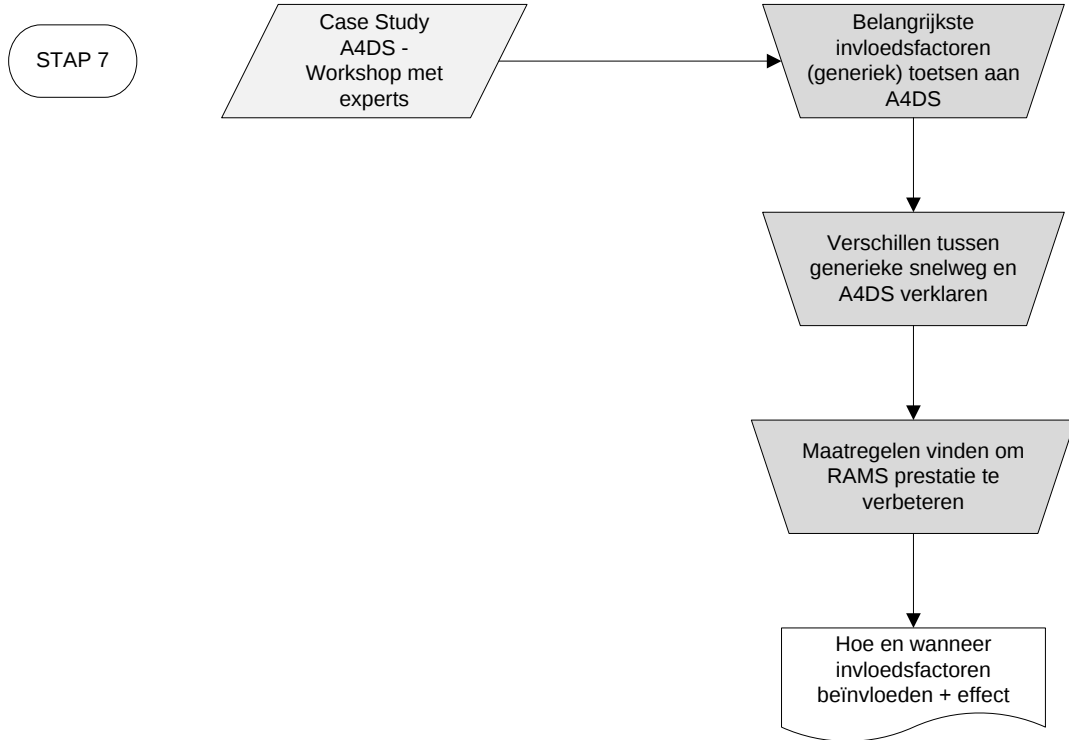
In bijlage 5A wordt de werkwijze van de expert interviews beschreven.

Informatie: Experts opinions. Individuele interviews met experts.

Product:

- Een invloedsfactoren/RAMS aspecten - matrix met ingevuld de mate van invloed op de RAMS-aspecten. Zie bijlage 5C deel 1 voor een voorbeeld.
- Een invloedsfactoren/levenscyclusfases – matrix met ingevuld de levenscyclusfase waarin de factor haar invloed heeft op het snelwegsysteem. Zie bijlage 5C deel 2 voor een voorbeeld
- Mogelijke beheersmaatregelen voor invloedsfactoren.

Stap 7



Figuur 4: Case study A4DS

In deze stap wordt de case study design workshop uitgevoerd. De belangrijkste invloedsfactoren worden getoetst aan de A4DS. Verschillen tussen een generieke snelweg (de gemiddelde snelweg zoals in dit onderzoek afgebakend) en de A4DS zullen worden verklaard. Er zullen mogelijkheden onderzocht worden om de invloedsfactoren te beïnvloeden, om zo de RAMS prestatie van een snelweg te verhogen.

In bijlage 6A is de werkwijze van de workshop beschreven.

Informatie: Design workshop met experts die betrokken zijn bij het project A4DS.

Product: Maatregelen om de invloedsfactoren te beïnvloeden om zo de RAMS prestatie van een snelweg te verbeteren.

2.5. Limitaties

Dit afstudeeronderzoek heeft te maken met limitaties. Een limitatie is het beperkte aantal experts wat deel heeft genomen aan dit onderzoek. Vooral experts van de opdrachtgever en van installatiebedrijven waren vanwege verschillende redenen niet bereid om mee te werken aan dit onderzoek.

Deze twee beperkingen samen maken dat er geen terugkoppeling of tweede ronde interviews plaats kon vinden met de experts.

Een limitatie is ook er een gedeeltelijke afhankelijkheid van informatie is die vanuit interviews met experts komt. Door de relatief kleine hoeveelheid literatuur over invloedsfactoren op de RAMS prestatie van snelwegen is een terugkoppeling aan de literatuur slechts beperkt mogelijk.

3. RAMS methodiek en RAMS aspecten

Na een verdere inleiding op RAMS zullen in dit hoofdstuk vervolgens de vier RAMS aspecten uitgebreid omschreven en gedefinieerd worden. Hierbij wordt ook per aspect van RAMS een schaal gegeven, waarop de mate van invloed aangegeven kan worden. Daarna volgt een historisch overzicht van het toepassen van de RAMS en wordt geconcludeerd dat de geraadpleegde RAMS literatuur zich vooral focust op technische systemen.

3.1. Inleiding

Systemen en producten worden ontworpen om een (groot) aantal functies te vervullen. De systemen van tegenwoordig worden gekenmerkt door een hoge mate van complexiteit. Ondanks deze complexiteit, moet de systemen de gevraagde functies blijven vervullen: Er worden hoge eisen gesteld aan de systemen. Voorbeelden van systemen met een hoge complexiteit gekoppeld aan hoge eisen gesteld zijn technische systemen zoals vliegtuigen, militaire installaties en medische apparatuur (Barabady, 2005). Dit geldt vaak ook voor productieapparatuur (Brall & Gardner, 2001) en soms zelfs voor de geproduceerde producten zelf (Marketset & Kumar, 2003). Ook de verschillende onderdelen van de civieltechnische infrastructuur kunnen gezien worden als complexe systemen met hoge eisen.

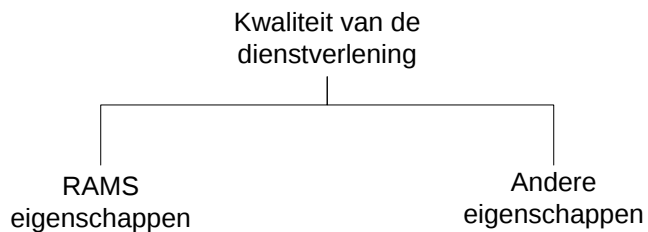
De prestaties van een systeem vertellen op welk niveau een systeem haar functies vervuld, oftewel de kwaliteit van een systeem. Prestaties van een systeem kunnen beschreven worden aan de hand van een scala aan eigenschappen. Bepaalde eigenschappen zijn vanzelfsprekend belangrijker dan andere. Zo zijn door concurrentie en de kijk naar totale gebruikskosten en productiekosten de betrouwbaarheid, beschikbaarheid en onderhoudbaarheid van een systeem veel belangrijker geworden in de afgelopen jaren (Barabady, 2005). Zowel bij technische systemen als bij alledaagse producten is het voor producenten noodzakelijk om te leveren met een goede, gedocumenteerde en voorspelbare kwaliteit, betrouwbaarheid en onderhoudbaarheid (Marketset & Kumar, 2003). In de literatuur wordt er een duidelijk onderscheid gemaakt tussen de verschillende systeemeigenschappen. De eigenschappen betrouwbaarheid, beschikbaarheid, onderhoudbaarheid en veiligheid worden vaak samen genoemd. Aan de hand van deze vier eigenschappen is namelijk voor vrijwel elke functie van een systeem de primaire prestatie te beschrijven, te bepalen en te monitoren (Rijkswaterstaat, 2009). In de literatuur wordt dit aangeduid met het acroniem RAMS:

Reliability	Betrouwbaarheid
Availability	Beschikbaarheid
Maintainability	Onderhoudbaarheid
Safety	Veiligheid

RAMS staat ook voor de samenhang tussen deze begrippen. RAMS prestaties beschrijven met welke kwaliteit een systeem zijn functie kan vervullen (Barabady, 2005). RAMS laat de bedrijfszekerheid van het functioneren van een systeem zien (Rijkswaterstaat, 2009). Inzicht in de RAMS prestaties is dan ook essentieel voor systemen met een belangrijke functie.

De RAMS eigenschappen van een systeem beschrijven de zekerheid waarmee het systeem aan haar doelen voldoet. Figuur 5 geeft de invloed van de RAMS eigenschappen van een systeem aan op de

kwaliteit waarmee de dienst geleverd wordt aan de gebruiker. De kwaliteit van de dienstverlening kan hiernaast nog worden beïnvloed door andere eigenschappen. De kwaliteit van de dienstverlening, oftewel de kwaliteit van het gebruik van het systeem, wordt dus in grote mate beschreven door de RAMS eigenschappen. Andere mogelijk eigenschappen van een systeem zijn: Economisch, politiek, uitstraling, aanzien, comfort, leefbaarheid, milieuvriendelijkheid en gezondheid.



Figuur 5: Kwaliteit van de dienstverlening en RAMS (CENELEC, 1999)

Voor het in kaart brengen van de kwaliteit van een systeem, uitgedrukt in de RAMS aspecten, wordt een zogenaamde RAMS analyse uitgevoerd. In de literatuur worden niet altijd de volledige vier RAMS aspecten samen besproken. Soms is er alleen sprake van een RAM analyse, soms zelfs alleen een R&M analyse. Het voorspellen van defecten en beschrijven van faalmechanismen is hierin uitermate belangrijk geworden. Een combinatie van een RAMS studie met economische analyses geeft ruimte voor het toepassen van optimalisatie modellen, bijvoorbeeld voor onderhoudsmanagement. Tot voor eind jaren '90 werden RAMS analyses alleen toegepast op gebieden als machinebouw, complexe installaties, proces- en productindustrie. In de infrastructuursector van het spoor wordt sinds enkele jaren met de RAMS methodiek gewerkt.

Voor spoorssystemen bestaat de Europese standaard EN 50126, uitgebracht door de European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC). Deze standaard geeft spoorautoriteiten en de spoorondersteuningsindustrie binnen de Europese Unie een proces dat het mogelijk maakt een consistente benadering te implementeren voor RAMS (CENELEC, 1999). Deze Europese standaard kan systematisch toegepast worden, in alle levensfasen van een spoorstelsel, om zo spoor specifieke RAMS eisen te ontwikkelen en daar aan te voldoen. De benadering beschreven in de standaard is consistent met de toepassing van kwaliteit management eisen binnen de ISO 9000 serie van internationale standaards.

In de infrastructuur van het hoofdwegenet in Nederland, de snelwegen, is de toepassing van de RAMS pas onlangs geïntroduceerd door wegbeheerder Rijkswaterstaat. Eind 2009 heeft Rijkswaterstaat haar eigen RAMS leidraad gepresenteerd. Er zijn echter nog veel onduidelijkheden over de RAMS eigenschappen van een snelwegsysteem en hoe de RAMS methodiek toegepast moet worden. Aangezien het werken met de RAMS methodiek voordelen met zich meebrengt, is verder onderzoek hierna zeer relevant. Daarom heeft dit onderzoek als onderwerp de RAMS van snelweg infrastructuur.

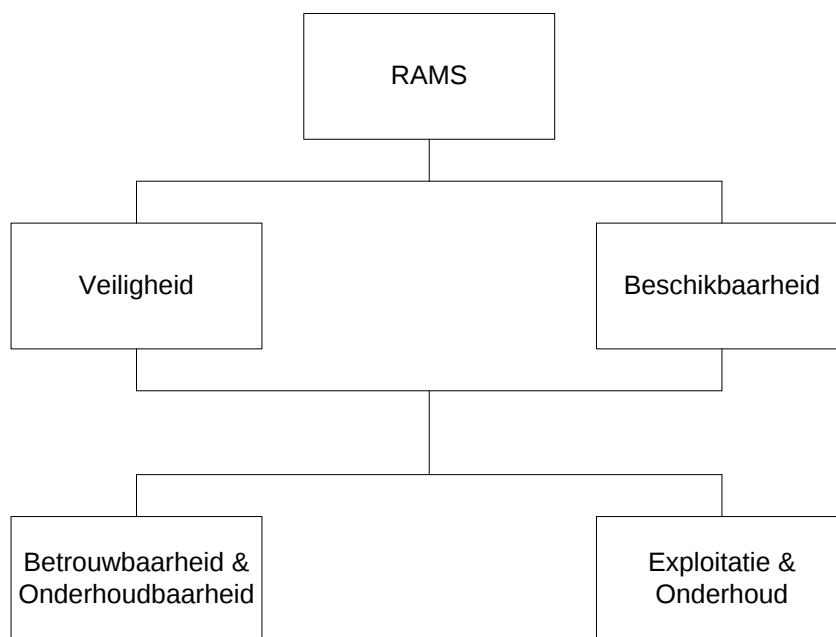
3.2. RAMS

In deze paragraaf worden voor RAMS en de vier aspecten waaruit het bestaat een uitgebreide omschrijving gegeven. Voor elk aspect wordt een duidelijke definitie gegeven.

Een duidelijke definitie van RAMS wordt gegeven door (CENELEC, 1999):

Een karakteristiek van de langdurige gebruikersperiode van een systeem dat door de toepassing van voorgeschreven ontwerpregels, ontwerpmethoden, middelen en technieken wordt vastgelegd voor de gehele levenscyclus van het systeem. De RAMS van een systeem kan worden gekarakteriseerd als een kwalitatieve en kwantitatieve indicator waarmee de mate wordt aangegeven waarin het systeem (of het subsysteem en componenten overeenkomstig met het systeem) kan functioneren zoals in de specificaties is vastgelegd en dat zowel beschikbaar als veilig is.

Er is een samenhang tussen de aspecten van RAMS (CENELEC, 1999), (Rijkswaterstaat, 2009). Veiligheid en beschikbaarheid hebben een grote onderlinge afhankelijkheid. Onjuiste afstemming van veiligheids- en beschikbaarheidseisen kan de betrouwbaarheid van een systeem schaden. Het behalen van veiligheids- en beschikbaarheidseisen tijdens het gebruik zal alleen lukken als alle betrouwbaarheids- en onderhoudseisen gehaald worden. Daarnaast dienen ook de lange termijn, exploitatie- en onderhoudsactiviteiten en de systeemomgeving voortdurend gecontroleerd te worden. Dit is weergegeven in Figuur 6.



Figuur 6: Relatie tussen RAMS aspecten (CENELEC, 1999)

3.3. Beschrijving RAMS aspecten

In de literatuur over RAMS worden vaak overeenkomende, maar soms ook verschillende en uiteenlopende definities en formules gegeven voor de RAMS aspecten. In de hierna volgende paragrafen zal hiervan een overzicht gegeven worden. Voor elk aspect zal uiteindelijk gekozen worden voor een eenduidige definitie die toepasbaar is voor snelweg infrastructuur.

De RAMS aspecten hebben betrekking op de kwaliteit van een systeem. Het falen van systeemonderdelen kan grote invloed hebben op deze kwaliteit. Het risico van falen van

systeemonderdelen en de mate van impact van dit falen dient bij de kwantificering van RAMS in kaart gebracht te worden. Daarom wordt allereerst gedefinieerd wat falen inhoud.

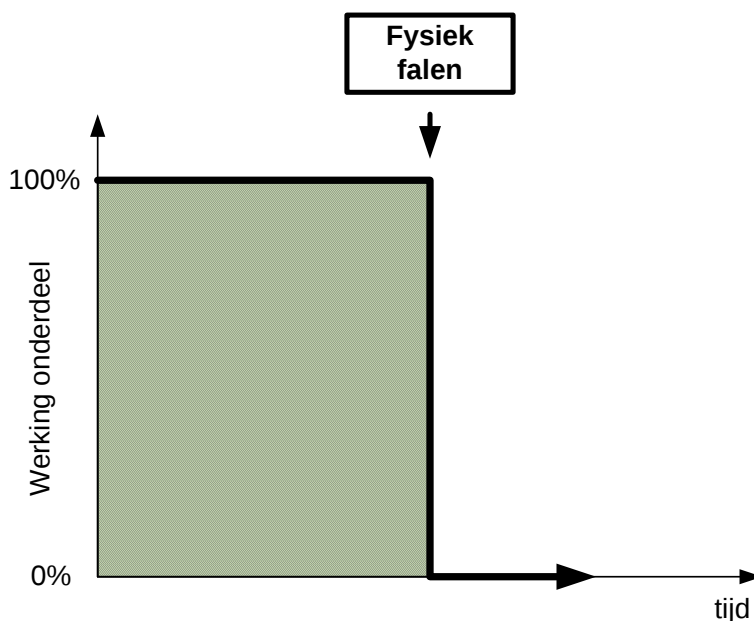
3.3.1. Falen

Falen wordt in de literatuur veelal gedefinieerd als:

Een gebeurtenis, of een verzameling gebeurtenissen, waardoor een systeem zijn functionaliteit verliest (Rijkswaterstaat, 2009). Bij systemen die niet continu dienen te functioneren wordt falen omschreven als het verlies van functie, wanneer de functie nodig is (Eti, Ogaji, & Probert, 2007).

Fysiek falen en normfalen

In de bovenstaande definitie wordt falen geassocieerd met een gebeurtenis, namelijk het verlies van functie. Een systeem kan echter ook op een andere manier falen. Er zijn namelijk twee manieren van falen te onderscheiden: fysiek falen en normfalen. Fysiek falen treedt op bij het bezwijken van een onderdeel (het gebruik moet dan ook direct stoppen). In Figuur 7 is weergegeven dat als op een zeker moment in de tijd een onderdeel fysiek faalt, dit onderdeel direct buiten werking treedt.



Figuur 7: Fysiek falen

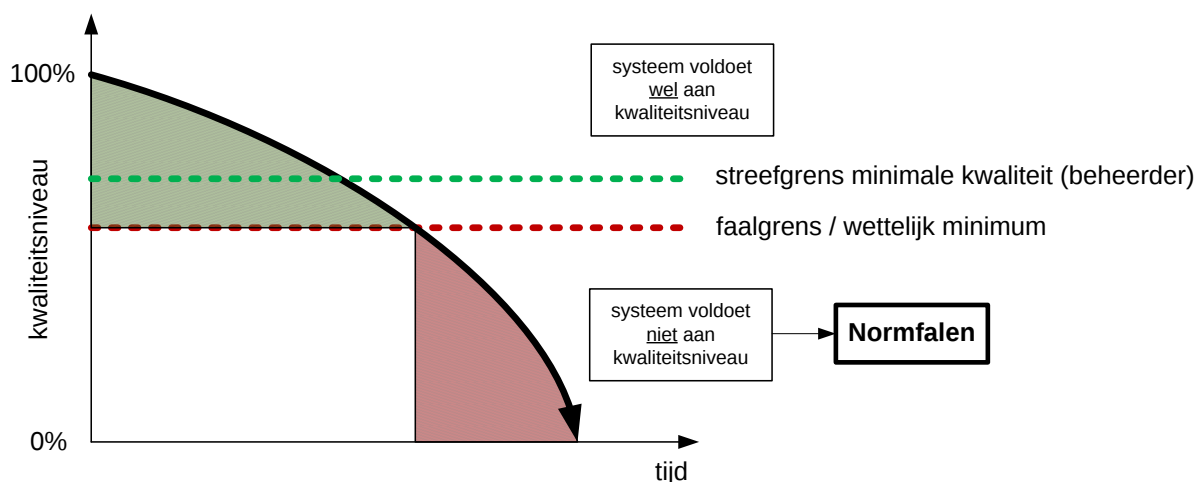
Normfalen treedt op bij het overschrijden van een van tevoren vastgestelde faal- of veiligheidsnorm. Vaak gelden er wettelijke eisen voor de kwaliteit van een (deel)systeem, vaak gebaseerd op veiligheidseisen.

Wanneer een systeem veroudert en gebruikt wordt zal de kwaliteit van het systeem afnemen. Een voorbeeld van een civiele constructie is een asfaltweg. Een weggedeelte zal normaliter niet van de één op de andere dag bezwijken. Er zal langzaam iets van de toplaag afslijten, er zullen her en der gaten en scheuren ontstaan. Geleidelijk zal de kwaliteit van de weg afnemen. Het verkeer zal hier steeds meer hinder van ondervinden. Op een gegeven moment is de weg in zo'n slechte staat dat deze niet meer gebruikt kan worden. Het kwaliteitsverlies van een (weg)systeem is weergegeven in Figuur 8 door middel van de dikke kromme pijl. Op elk punt in de tijd heeft het systeem een bepaald kwaliteitsniveau, welke af zal nemen wanneer de tijd verstrijkt. Aan de kwaliteit van een wegsysteem

zijn bepaalde eisen gesteld. Het systeem moet aan een minimaal kwaliteitsniveau voldoen. Dit niveau is in de figuur weergegeven met een faalgrens. Wanneer de kwaliteit van het systeem onder de faalgrens komt, wordt niet langer voldaan aan het gestelde kwaliteitsniveau. Men spreekt dan van normfalen. Bij werktuigbouwkundige objecten kent men voornamelijk fysiek falen, bij civieltechnische objecten vooral normfalen (Dekker & van Noortwijk, 2001).

Als de kwaliteit onder de veiligheidsnorm daalt, is het systeem vaak nog wel te gebruiken, maar voldoet het niet meer aan de gestelde eisen. Bij een snelwegstelsel kan hiervoor het volgende voorbeeld gegeven worden: Op het moment dat een weggedeelte in slechte staat verkeerd en dus niet langer aan de veiligheidseisen voldoet, kan het weggedeelte misschien nog wel gebruikt worden, er zal echter langzamer gereden moeten worden om zo de veiligheid te waarborgen.

Het is natuurlijk wenselijk dat een systeem altijd aan haar eisen voldoet. Is dit niet het geval, het zo snel mogelijk hersteld wordt zodat het weer aan de eisen voldoet. De beheerder van een systeem kan zelf een hogere streefgrens aanhouden (een gewenst minimaal kwaliteitsniveau) dan het wettelijk minimum. Dit alles is weergegeven in Figuur 8.



Figuur 8: Normfalen

Merkbaar en niet-merkbaar falen

Er is nog een andere onderscheid te maken binnen het begrip falen, namelijk tussen merkbaar falen en niet-merkbaar falen (Rijkswaterstaat, 2009). Er is sprake van merkbaar falen als het niet functioneren van een component direct vastgesteld wordt op het moment dat het falen optreedt. Een voorbeeld hiervan is tunnelverlichting. Deze moet dag en nacht aan zijn. Op het moment dat er lichten doven, is dit direct merkbaar. Bij niet-merkbaar falen, kan het tekortschieten in het functioneren van een component niet direct worden vastgesteld. Bijvoorbeeld bij een functie die slechts periodiek wordt aangesproken, zoals de geleiderail. Alleen in het geval van een incident wordt deze functie aangesproken.

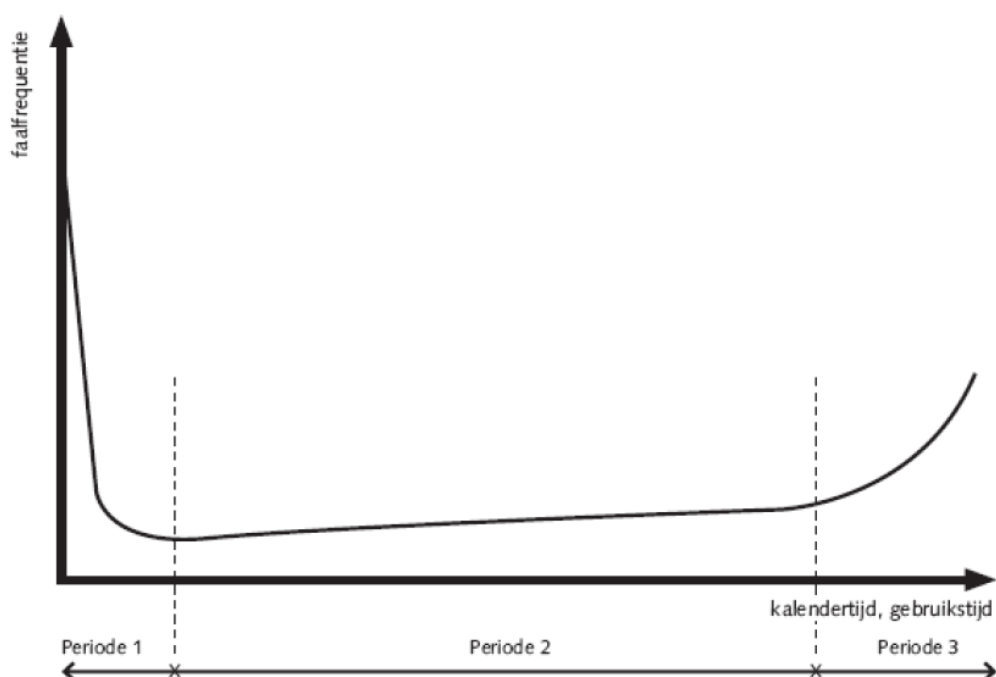
Er zijn twee mogelijkheden waarbij niet-merkbaar falen opgemerkt wordt:

- Een aanspraak op de betreffende component
- Een functionele test van de component

Het is belangrijk om maatregelen te treffen om niet-merkbaar falen tijdig te detecteren, omdat anders het falen pas opgemerkt wordt als er aanspraak op wordt gemaakt. In het voorbeeld van een slecht functionerende geleide rail in het geval van een incident, kan dit grote gevolgen hebben voor de gevolgen van het incident.

Faalfrequentie

Tijdens het gebruik van een systeem of component, is de faalfrequentie niet constant. De faalratio van een systeem is hoog bij het begin van ingebruikname (als gevolg van kinderziektes), dan afnemend tot een constante waarde in de gebruiksfase en dan weer oplopend als gevolg van verslijten en veroudering. Dit is weergegeven in het badkuipmodel (Rijkswaterstaat, 2009), (Barabady, 2005), (Borgonovo, Marsequerra, & Zio), welke is weergegeven in Figuur 9.



Figuur 9: Badkuipmodel (Rijkswaterstaat, 2009)

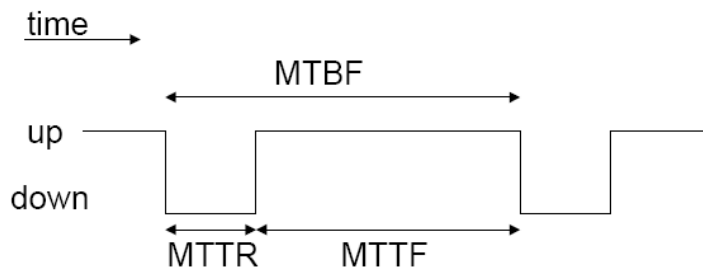
Omdat falen nooit volledig uitgesloten kan worden, is het belangrijk om zowel de waarschijnlijkheid van het voorkomen als het gevolg van het falen te minimaliseren (Barabady, 2005).

Definitie falen

Een gebeurtenis, of een verzameling gebeurtenissen, waardoor verlies van functie optreedt of wanneer er niet langer voldaan wordt aan het vooraf vastgestelde kwaliteitsniveau.

3.3.2. Betrouwbaarheid

Traditioneel wordt de betrouwbaarheid van het systeem gemeten in termen van mean-time-between-failure (MTBF), oftewel de tijd tussen 2 opeenvolgende faal gebeurtenissen (Guthrie, Farquharson, Bonnet, & Bjoro, 1990). Dit is weergegeven in Figuur 10. Hierin zijn ook weergegeven de mean-time-to-repair (MTTR), de tijd die nodig is totdat het systeem gerepareerd is, en de mean-time-to-failure (MTTF), de tijd van werking na reparatie tot het moment van falen.



Figuur 10: MTBF, MTTR en MTTF (Kawauchi & Rausand, 1999)

Tegenwoordig wordt echter vaker de faalkans $F(t)$ van een systeemfunctie gebruikt om de betrouwbaarheid te kwantificeren. Betrouwbaarheid is een performance indicator voor de conditie van alle apparaten en onderdelen binnen een systeem (Barabady, 2005).

Definitie betrouwbaarheid

Betrouwbaarheid wordt dan ook gedefinieerd als:

De waarschijnlijkheid dat de vereiste functie wordt uitgevoerd onder gegeven omstandigheden gedurende een bepaald tijdsinterval (Rijkswaterstaat, 2009), (Ebeling, 1997, geciteerd door (Barabady, 2005), (van Bussel & Zaaijer, 2001), (Eti, Ogaji, & Probert, 2007), (Muza et al., 1987, geciteerd door (Grunske, 2007), (CENELEC, 1999).

In formulevorm:

$$R(t) = 1 - F(t)$$

Waarin,

$R(t)$ = de betrouwbaarheidsfunctie

$F(t)$ = de cumulatieve kans op falen over de tijd

Mate van invloed

De mate van invloed wordt aangegeven op een schaal van:

- Zeer laag frequentie van falen wordt met 0-1% verhoogd.
Neemt niet tot nauwelijks waarneembaar toe.
- Laag frequentie van falen wordt met 1-5% verhoogd.
Neemt nauwelijks waarneembaar tot beperkt waarneembaar toe.
- Middel frequentie van falen wordt met 5-10% verhoogd.
Neemt duidelijk waarneembaar toe.
- Hoog frequentie van falen wordt met 10-25% verhoogd.
Wordt storend.

- Zeer hoog frequentie van falen wordt met 25-50% verhoogd.
Wordt zeer storend.

3.3.3. Beschikbaarheid

Beschikbaarheid wordt in de literatuur eenduidig gedefinieerd. Daarom zal nu eerst die definitie gegeven worden. Vervolgens zal er verder in worden gegaan op dit aspect.

Definitie beschikbaarheid

Beschikbaarheid wordt gedefinieerd als:

De waarschijnlijkheid dat de vereiste functie op een gegeven willekeurig moment kan worden uitgevoerd onder gegeven omstandigheden (Rijkswaterstaat, 2009), (Elsayed, 1996, Ebeling 1997, geciteerd door (Tsai, 2005)), (Grunske, 2007), (CENELEC, 1999). Dit komt overeen met de fractie van de tijd dat de vereiste functie kan worden uitgevoerd onder gegeven omstandigheden.

Beschikbaarheid is een maat om aan te geven hoeveel van de theoretisch beschikbare tijd een component of systeem daadwerkelijk functioneert. De eenheid van beschikbaarheid is dus tijd (meestal in uren per jaar), maar wordt uitgedrukt in een kans: De kans dat het systeem op een willekeurig moment in de tijd beschikbaar is.

Beschikbaarheid en niet-beschikbaarheid zijn strikt complementair. Vaak ligt de focus op de niet-beschikbaarheid. Er worden drie groepen oorzaken van niet-beschikbaarheid onderscheiden (Rijkswaterstaat, 2009):

- Niet-beschikbaarheid als gevolg van planbare oorzaken. Onder geplande of voorziene oorzaken worden ondermeer gepland testen en gepland onderhoud verstaan.
- Niet-beschikbaarheid als gevolg van niet-planbare oorzaken. Onder ongeplande of onvoorziene oorzaken worden ondermeer storingen, schades en vroegtijdige (onverwachte) vervangingen verstaan.
- Niet-beschikbaarheid als gevolg van natuurlijke randvoorwaarden. Onder natuurlijke randvoorwaarden worden natuurlijke omstandigheden verstaan die buiten de randvoorwaarden vallen waar het systeem voor ontworpen is.

De relatie tussen beschikbaarheid en niet-beschikbaarheid in een formule:

$$A = 1 - U = 1 - (U_{pl} + U_{npl} + U_{nat})$$

Waarin,

A = de beschikbaarheid in tijd

U = de niet-beschikbaarheid in tijd

U_{pl} = de niet-beschikbaarheid als gevolg van planbare oorzaken

U_{npl} = de niet-beschikbaarheid als gevolg van niet-planbare oorzaken

U_{nat} = de niet-beschikbaarheid als gevolg van natuurlijke randvoorwaarden

De beschikbaarheid hangt nauw samen met andere eigenschappen van een systeem. Zo stelt Barabady (2005) dat de beschikbaarheid een functie is van de bedrijfstijd, faalratio, onderhoudsratio en systeemstructuur. Grunske (2007) argumenteert dat de beschikbaarheid ook afhangt van de waarschijnlijkheid van falen (betrouwbaarheid) als het vermogen te herstellen van falen (onderhoudbaarheid). De beschikbaarheidseis kan vertaald worden naar betrouwbaarheidseisen en onderhoudbaarheidseisen in termen van acceptabele faalratio's en uitvaluren voor elke component als expliciete ontwerpdoelstellingen (Eti, Ogaji, & Probert, 2007).

Mate van invloed

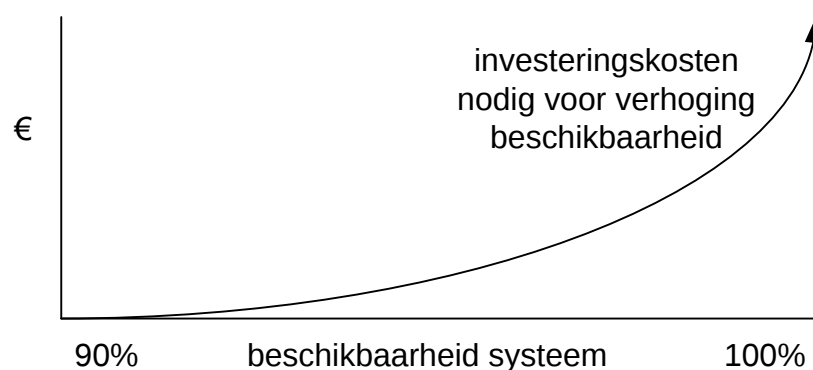
De mate van invloed wordt aangegeven op een schaal van:

- Zeer laag de niet-beschikbaarheid wordt maximaal met 1 uur per jaar verhoogd. (tot 0,4% van totaal)
- Laag „ met 1 tot 5u per jaar per jaar verhoogd. (tot 2% van totaal)
- Middel „ met 5 tot 10 u per jaar verhoogd. (tot 4% van totaal)
- Hoog „ met 10 tot 25u per jaar verhoogd. (tot 10% van totaal)
- Zeer hoog „ met meer dan 25u per jaar verhoogd. (meer dan 10% van totaal)

De vertaling van percentages en uren is op basis van een totale niet-beschikbaarheid van 250u per jaar (= beschikbaarheid 97,1%).

Investeringskosten en beschikbaarheid

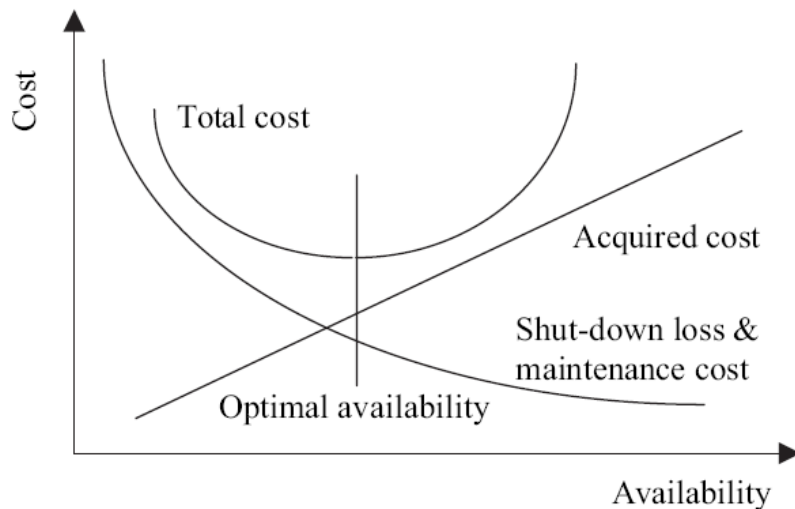
Vanuit kostenooqpunt geldt: Hoe hoger de beschikbaarheid van een systeem, hoe hoger de investeringskosten voor verbetering van het systeem normaal gesproken zijn (Tsai, 2005), (Zoeteman & Braaksma, 2001). De kosten voor elke verhoging van de beschikbaarheid zullen telkens hoger worden. Dit is weergegeven in Figuur 11.



Figuur 11: Stijgende investeringskosten bij verdere verhoging van de beschikbaarheid (Zoeteman & Braaksma, 2001)

Tsai (2005) beschrijft dat er een optimaal punt is tussen de beschikbaarheid van een systeem en de kosten. Dit wordt weergegeven in Figuur 12. Bij een lage beschikbaarheid zijn onderhoudskosten en de kosten voor het verlies van de functie zeer hoog. Bij een hoge beschikbaarheid zijn de

investeringskosten zeer hoog. Tussen deze twee uitersten ligt een vanuit kosten oogpunt een optimaal punt, waarbij de som van beide soorten kosten het laagst is.



Figuur 12: De relatie tussen beschikbaarheid en de kosten van een systeem (Tsai, 2005)

3.3.4. Onderhoudbaarheid

De wetenschappelijke publicaties aangaande RAMS gebruiken verschillende definities van onderhoudbaarheid.

CENELEC (1999) ziet onderhoudbaarheid als een combinatie van alle technische en administratieve acties, inclusief supervisie acties, bedoeld om een bepaald product te behouden of te herstellen in een staat waarin het zijn functie kan uitvoeren.

Ebeling (1997, geciteerd door Tsai (2005)) definieert onderhoudbaarheid zelfs als de kans dat een gefaald systeem of component herstelt of gerepareerd wordt tot een gespecificeerde staat binnen een periode wanneer onderhoud wordt uitgevoerd in overeenstemming met voorgeschreven procedures.

Volgens van Bussel & Zaaijer (2001) gaat onderhoudbaarheid over de eenvoudigheid van het reparatieprobleem. Het kan daarom uitgedrukt worden in termen van uren die nodig zijn om een reparatieactie uit te voeren (van Bussel & Zaaijer, 2001). Het is de niet-beschikbaarheid bijdrage als gevolg van testen en onderhoud, volgens Marseguerra, Zio & Martorell (2006).

Onderhoud

Om de onderhoudbaarheid goed te beschrijven, dient ook de term onderhoud gedefinieerd te worden. Onderhoud is elke activiteit uitgevoerd op een systeem om ervoor te zorgen dat het systeem operationeel blijft (Eti, Ogaji, & Probert, 2007), (Barabady, 2005), (Dekker & van Noortwijk, 2001). Hierbij zijn inspecties, reparaties, vervangingen en levensduurverlengende maatregelen mogelijke onderhoudsacties. Als er in het onderhoudsconcept een toestandsindicator voor de kwaliteit van (deel)systemen bestaat kan er toestandsafhankelijk onderhoud worden uitgevoerd (Dekker & van Noortwijk, 2001). Bij rijkswegen geldt dat het jaarlijkse budget voor onderhoud al hoger is dan dat voor nieuwbouw (Dekker & van Noortwijk, 2001). Onderhoud kan verdeeld worden in twee categorieën (Barabady, 2005):

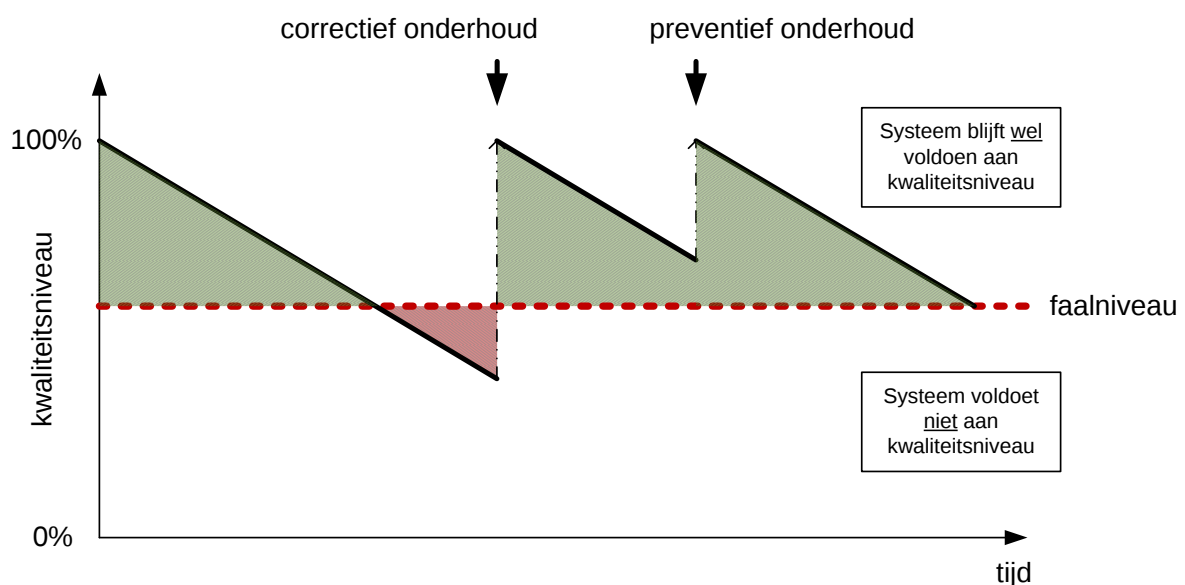
- Correctief onderhoud

Het onderhoud uitgevoerd na foutdetectie en bedoeld om een product in een staat te brengen waarin het de gevraagde functie kan uitvoeren (CENELEC, 1999).

- Preventief onderhoud

Onderhoud uitgevoerd op vooraf vastgestelde intervallen of volgens voorgeschreven criteria en bedoeld om de kans op falen (of de afbraak) van de functie te verkleinen (CENELEC, 1999). Dit wordt alom beschouwd als een effectieve strategie voor het verminderen van het aantal storingen van het systeem, en daardoor het verlagen van de totale kosten (Okogbaa & Peng, 1996), (Tasi et al., 2001, geciteerd door Barabady (2005)) voor (1) inspectie en onderhoud en (2) de storingsduur (Eti, Ogaji, & Probert, 2007). Echter, als preventief onderhoud te frequent wordt uitgevoerd kunnen de kosten uit de hand lopen (Okogbaa & Peng, 1996). Er dient gezocht te worden naar optimale vervangings- en reparatie-intervallen.

Om het verschil tussen beide vormen van onderhoud nog duidelijker te maken worden ze weergegeven in Figuur 13. Als het kwaliteitsniveau van een systeem daalt tot onder het faalniveau, is er sprake van falen. Als pas na dit moment overgegaan wordt tot onderhoud, spreekt men van correctief onderhoud. Preventief onderhoud vindt plaats, als het systeem nog aan het geëiste kwaliteitsniveau voldoet. Men doet dit om te voorkomen dat de kwaliteit tot onder het faalniveau zakt. Van Noortwijk (1998) ontwikkelde een model om een optimale kostenafweging te maken tussen preventief onderhoud enerzijds en correctief onderhoud anderzijds.



Figuur 13: Faalniveau, correctief en preventief onderhoud

De onderhoudsbehoeften van een systeem zijn grotendeels vastgesteld bij haar ontwerp en bouw procedure (Markeset & Kumar, 2001), (Blanchard & Fabryky, 1998, geciteerd door Eti, Ogaji, & Probert (2007)). De nadruk is verschoven van het uitvoeren van reparaties, naar het begrijpen van de oorzaken van falen (August, 1999, geciteerd door Eti, Ogaji, & Probert (2007)). Efficiënt onderhoudsbeleid zorgt voor betrouwbare en economische werking van het systeem (Borgonovo, Marsequerra, & Zio, 2000).

Definitie onderhoudbaarheid

Zoals beschreven zijn er verschillende definities voor onderhoudbaarheid terug te vinden in de literatuur. Aangezien dit onderzoek zich toe zal spitsen op de snelweg infrastructuur, is besloten om de definitie van Rijkswaterstaat te gebruiken:

De waarschijnlijkheid dat de activiteiten voor actief onderhoud mogelijk zijn binnen de hiervoor vastgestelde tijden, onder gegeven omstandigheden om de vereiste functie te kunnen (blijven) uitvoeren (Rijkswaterstaat, 2009).

Mate van invloed

De mate van invloed wordt aangegeven op een schaal van:

- Zeer laag 0-1%
Zeer kleine kans dat het onderhoud hierdoor buiten de geplande tijd valt.
- Laag 1-5%.
Kleine kans op uitloop.
- Middel 5-10%
Kans op uitloop bestaat, maar is niet groot.
- Hoog 10-25%
Reële kans op uitloop. 1 op de 10 tot 1 op de 4 keer kan onderhoud hierdoor niet binnen de gestelde tijden uitgevoerd worden.
- Zeer hoog 25-100%
Kans op uitloop groot tot vrijwel zeker. Onderhoud past bijna zeker niet in tijdsvensters.

3.3.5. Veiligheid

De veiligheid is een maat voor het gevaar dat een systeem kan opleveren voor mensen (Rijkswaterstaat, 2009). In verschillende bronnen, waaronder in Traject Nota's en MER studies (bijvoorbeeld die van de A4DS), wordt veiligheid opgesplitst in interne veiligheid en externe veiligheid.

Bij interne veiligheid (verkeersveiligheid) wordt gesproken over zowel het aantal doden als het aantal ernstige slachtoffers (doden en ziekenhuisgewonden). Doden en ziekenhuisgewonden worden vaak ook samengevat in de term "letselschade aan mensen". In de Nota Mobiliteit is een ambitie uitgesproken ten aanzien van het maximum aantal slachtoffers (Rijkswaterstaat (2), 2009). Zo is het doel om in 2010 maximaal 750 verkeersdoden en 17.000 ziekenhuisslachtoffers te hebben. Het doel voor 2020 is maximaal 500 verkeersdoden en 12.250 ziekenhuisslachtoffers te hebben.

Bij externe veiligheid wordt gesproken over het groepsrisico (GR). Groepsrisico is de kans per jaar dat een groep personen in het invloedsgebied van een inrichting of transportroute komt te overlijden als

direct gevolg van een ongewoon voorval met gevaarlijke stoffen in die inrichting of op die route. Orde van grootte is frequentie 10^{-7} per jaar.

Veiligheid kan onderverdeeld worden in verschillende veiligheidsthema's als brandveiligheid, arbeidsveiligheid, sociale veiligheid en constructieve veiligheid. In Tabel 1 zijn alle veiligheidsthema's weergegeven, zoals beschreven in de Leidraad Integrale Veiligheid (LIV) van Rijkswaterstaat.

Integrale Veiligheid	Interne Veiligheid	Algemeen	Constructieve veiligheid	Verkeersveiligheid Tunnelveiligheid
			Brandveiligheid	
			Arbeidsveiligheid	
			Sociale veiligheid	
			Security	
	Modaal/ Sectoraal/ Objectgericht		Veiligheid Wegverkeer	
			Spoorwegveiligheid	
			Zee- en binnenvaart	
			Veiligheid tegen overstroming	
			Inrichtingen	
	Externe Veiligheid	Gevaarlijke stoffen	Transport	
	Hulpverlening	(Bereikbaarheid)		
		(Middelen)		
		(Organisatie)		

Tabel 1: Veiligheidsthema's

Bij wegverkeer wordt onderscheid gemaakt tussen verkeersveiligheid en tunnelveiligheid. De weggebruiker zelf maakt ook onderdeel uit van het snelwegsysteem wat in dit onderzoek beschouwd wordt. Hierdoor heeft ook de auto invloed op het systeem. Autopech kan dus ook invloed hebben op de verkeersveiligheid.

Veiligheid is gedeeltelijk een onderdeel of vorm van betrouwbaarheid, waarbij falen als mogelijk gevolg menselijk letsel betreft. Een voorbeeld hiervan is constructieve veiligheid. Als een onderdeel van het systeem bezwijkt heeft dit gevolgen voor de betrouwbaarheid. Als het bezwijken echter ook mogelijk menselijk letsel tot gevolg heeft, heeft het ook invloed op de veiligheid. Een veiligheidseis is een beschrijving van een hazard (veiligheid gerelateerd faalmechanisme), gecombineerd met een toelaatbare waarschijnlijkheid van deze hazard (Grunske, 2007).

Er zijn ook systemen die als functie hebben om de veiligheid te vergroten. Voorbeelden hiervan zijn brandmeld- en brandblussystemen en verkeerssignalering. De betrouwbaarheid en (niet)-beschikbaarheid van deze systemen beïnvloed de veiligheidsfuncties.

Ook het ontbreken van een veiligheidsfunctie, bijvoorbeeld het afgaan van een sprinklerinstallatie als dat niet nodig is, kan de veiligheid beïnvloeden. Er dient dus ook onderzocht te worden hoe veilig het systeem is, als een bepaalde veiligheidsfunctie faalt.

Veiligheid speelt niet alleen een rol tijdens het gebruik, maar ook tijdens de bouw, het testen en het uitvoeren van onderhoud.

Definitie veiligheid

Veiligheid wordt gedefinieerd als:

Het vrij zijn van onaanvaardbare risico's in termen van letselschade aan mensen (Rijkswaterstaat, 2009),(CENELEC, 1999).

Mate van invloed

De mate van invloed wordt aangegeven op een schaal van:

- Zeer laag 0-0,1%

Kans op toename letselslachtoffers verwaarloosbaar klein.

- Laag 0,1-1%

Uitermate kleine kans.

- Middel 1-10%

Kans bestaat, maar is niet groot.

- Hoog 10-25%

Reële kans.

- Zeer Hoog 25-50%

Vrijwel zeker dat hierdoor het aantal letselslachtoffers zal toenemen.

3.4. Ontwikkeling van RAMS

In de loop van de vorige eeuw zijn er verschillende manieren ontwikkeld voor het omgaan met RAMS aspecten. In het begin van de 20^e eeuw werd er enkel kwalitatief naar het aspect betrouwbaarheid gekeken. In de decennia daarna werden de analyses uitgebreid naar R&M, RAM en RAMS. Tegenwoordig bestaan er zowel kwalitatieve als kwantitatieve analyses voor RAMS die ook integraal inzicht kunnen geven in de aspecten beveiliging, gezondheid, milieu, economie en politiek (RAMSHEEP).

In de periode voor de Tweede Wereldoorlog was het concept van betrouwbaarheid in de eerste plaats kwalitatief en subjectief, gebaseerd op intuïtieve begrippen (Barabady, 2005). Een kwantitatieve analyse van de betrouwbaarheid is relatief recent en dateert uit de jaren '40. Deze meer wiskundige en formele benadering van de betrouwbaarheid is gegroeid uit de eisen van de moderne technologie, met name uit de ervaringen in de Tweede Wereldoorlog met complexe militaire systemen (Barlow en Proschan, 1965, geciteerd door (Barabady, 2005).

De combinatie van RAM studies met economische analyses creëert een kijk op onderhoudsmanagement. De eerste wetenschappelijke stukken over dit managementprobleem dateren uit de jaren '50 en '60 (review paper van McCall (1965) en het boek van Barlow (1965, beide geciteerd door (Borgonovo, Marsequerra, & Zio, 2000)). Verschillende onderhoudsoptimalisatie modellen werden geïntroduceerd, waarin zowel kosten en opbrengsten van onderhoud werden gekwantificeerd en waarmee een optimum tussen de twee werd gezocht. Men was toentertijd sterk voorstander van preventief onderhoud als middel om falen en ongeplande onbeschikbaarheid te reduceren. In veel grote bedrijven werden grote, op tijdsinterval gebaseerde, preventieve onderhoudsprogramma's opgericht (Borgonovo, Marsequerra, & Zio, 2000).

In de jaren '70 werd *Condition Monitoring* een populaire aanpak voor het voorspellen van defecten met behulp van fysieke informatie over de werkelijke toestand van het materieel (Borgonovo,

Marsequerra, & Zio, 2000). In veel gevallen bleek deze aanpak efficiënter dan de grote preventieve onderhoudsprogramma's. Gedetailleerde studies van faalmechanismen resulteerden in betere, meer betrouwbare ontwerpen.

Zowel betrouwbaarheid als onderhoudbaarheid werden opnieuw benadrukt in het midden van de jaren '80, met de introductie van de Air Force's Reliability and Maintainability (R&M) 2000 program (Ebeling, 1997, geciteerd door (Barabady, 2005). Eind jaren '80 en begin jaren '90 identificeerden enkele grote fabrikanten, met name Ford Motor Company en Intel Corp., de RAM eigenschappen van de productieapparatuur als belangrijk voor hun bedrijfsstrategieën en een bron voor significante kosten besparing. Ford kwam in 1990 met haar eerst R&M handboek voor productieapparatuur (Brall & Gardner, 2001).

Meer recentelijk is *Reliability Centered Maintenance* (RCM) doorgebroken in veel industrieën voor het vaststellen van onderhoudsprogramma's (Borgonovo, Marsequerra, & Zio, 2000). Deze methode stuurt onderhoudsinspanningen naar die onderdelen, die kritiek zijn vanuit het oogpunt van betrouwbaarheid, veiligheid en productieregelmaticheid.

Onderzoekers op het gebied van *operations research*, *management science* en *reliability engineering* hebben het gebied van RAM management verder ontwikkeld (Borgonovo, Marsequerra, & Zio, 2000). Om het onderhoud verder te optimaliseren worden verschillende nieuwe technieken overwogen, waaronder zowel klassieke gradiëntafname-methodes als modernere technieken zoals genetische algoritmen (Borgonovo, Marsequerra, & Zio, 2000).

Hoewel een RAMS analyse in veel gevallen een compleet beeld kan geven van de werking van een systeem, kan er in specifieke gevallen behoefte bestaan om het systeem nog breder te bekijken. Een aanvulling tot een bredere integrale analyse geeft dan ook een inzicht in de invloed van andere aspecten. De RAMS analyses kunnen uitgebreid worden tot RAMSSHE (RAMS + Beveiliging (Security) + Gezondheid (Health) en Milieu (Environment) of zelfs tot RAMSHEEP (RAMSHE + Economie (Economics) en Politiek (Politics) (Rijkswaterstaat, 2009). RAMS wordt steeds vaker gecombineerd met andere analyse methodes, zoals Life Cycle Costing (LCC) (zie bijlage 3A).

3.5. Focus op technische systemen

Bij het concreet toepassen van RAMS dienen de verschillende RAMS aspecten van een systeem gekwantificeerd te worden. Tools en methodes die beschikbaar zijn om RAMS aspecten te kwantificeren zijn FMECA (Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis), FTA (Fault Tree Analysis) en ETA (Event Tree Analysis) (Blanchard, Verda, & Peterson, 1995). Door middel van een FMECA of FTA wordt er een numerieke waarde gegeven aan het totale "succes" van een systeem, bijvoorbeeld 0,95. Een FMECA is een krachtige analyse methode waarbij twee elementen van risico, namelijk faalfrequentie en consequenties, worden meegenomen (Eti, Ogaji, & Probert, 2007).

Het toepassen van RAMS focust zich op dit moment veelal op de technische componenten van een systeem. Dit komt waarschijnlijk doordat RAMS in eerste instantie werd toegepast bij complexe technische systemen. Bij een volledig technisch (deel)systeem is het tevens eenvoudiger om een RAMS analyse uit te voeren dan bij een socio-technisch systeem. Een volledig technisch (deel)systeem is deterministisch goed te bepalen. Voor een socio-technisch systeem, zoals een snelwegstelsel is het toepassen van een FMECA veel moeilijker. Het deterministische karakter is dan moeilijk te bepalen doordat er veel kennis van het systeem en veel informatie over het systeem

beschikbaar moet zijn. Het toepassen van een FMECA analyse, behelst dan ook meestal slechts een analyse van de verschillende technische componenten van een systeem.

Er bestaat een grote hoeveelheid aan literatuur die RAMS analyses behandelden voor verschillende typen producten en toepassingen onder verschillende omstandigheden (Coffin, 1998, Bartow et al., 1975, Blanchard et al., 1995, Dhillon, 1999, Kumar, 1999, geciteerd door (Eti, Ogaji, & Probert, 2007). In Tabel 2 is te zien dat de vele onderzoeken in de literatuur over RAMS vooral betrekking hebben op technische systemen en machines.

Overzicht RAMS literatuur			
Bron	Jaar	Type systeem	Onderwerp
Barabady	2005	bauxiet crusher	R&M analyse
Borgonovo et al.	2000	fabriek	Monte Carlo simulatie van onderhoudsstrategieën
Brall & Grandner	2001	slijpmachines	invoeren R&M programma
Dekker & van Noortwijk	2001	civieltechnische systemen	beslissingsondersteuning civiel onderhoud
Eti et al.	2006	thermische electriciteitscentrale	integreren RAM met risico analyse
Grunske	2007	component-based software	voorspellen kwaliteitseigenschappen met generiek framework
Guthrie et al.	1990	algemeen	structured RAM process with activities and tools
Kawauchi et al.	1999	olie en chemie proces industrie	LCC analyse
Markeset & Kumar	2003	producten	ontwikkeling van produktondersteuning en onderhoudsconcepten
Marseguerra et al.	2006	algemeen	gebruik genetische algoritmen voor RAM optimalisatie
Okogbaa & Peng	1996	technische systemen	methodologie voor koststondige problemen in onderhoudsplanning
Rajpal et al.	2006	helicopter transport faciliteit	gebruik kunstmatige neurale netwerken voor optimale bediening van systeem
Sikos & Klemes	2009	warmtewisselaar netwerken	RAM optimalisatie
Tsai	2005	technische systemen	ondersteuningsmethode voor evalueren betrouwbaarheid en onderhoudbaarheid van een haalbare oplossing in vroege ontwerpfase
Tsang	2002	dienstverleningssysteem	maintenance management algemeen
van Brussel & Zaaijer	2001	windmolens	RAM analyse
van Noortwijk	1998	infrastructuur	onderhoudsoptimalisatie
Zoeteman	2001	spoor en HSL	LCC analyse voor ontwerp en onderhoud
Zoeteman & Braaksma	2001	HSL	R&M en LCC optimalisatie

Tabel 2: Overzicht RAMS literatuur

4. Factoren die de RAMS prestatie beïnvloeden

In dit hoofdstuk worden de factoren beschreven die invloed hebben op de RAMS prestatie van een systeem. Deze factoren zijn afkomstig uit de literatuur over RAMS. Dit leidt tot een lijst met mogelijke invloedsfactoren op de RAMS prestatie van een systeem.

4.1. Invloedsfactoren afkomstig uit literatuur

Om de invloedsfactoren op de RAMS prestatie van een snelwegsysteem te onderzoeken, is er eerst een overzicht gemaakt van de literatuur op dit onderwerp. Er is gekeken wat in de literatuur geschreven is over factoren die de RAMS prestatie van een systeem beïnvloeden.

4.1.1. Context van invloedsfactoren in literatuur

De literatuur over RAMS invloedsfactoren is niet uitgebreid, helemaal als snelwegen beschouwd worden. ARCADIS (2009) heeft RA(MS) analyses uitgevoerd van 6 snelwegtunnels in Nederland. RWS (2009) heeft een leidraad geschreven over RAMS. Voor verdere inzichten moet er al gekeken worden naar de spoorinfrastructuur of zelfs andere industrieën.

CENELEC (Europese standaard voor spoorwegen RAMS) (1999) schrijft zaken voor over het toepassen van RAMS en het omgaan met invloedsfactoren. Zoeteman (2001) deed onderzoek naar het verbeteren van de spoorsysteem (RAMS) prestatie in de ontwerpfase en maakte een LCC analyse voor het managen van spoorinfrastructuur. ProRail (2008) heeft een hand-out geschreven voor het toepassen van RAMS en LCC analyses.

Verdere literatuur over RAMS invloedsfactoren komt vanuit andere industrieën. Markeset en Kumar (2003) hebben onderzoek gedaan in een productiebedrijf. Ze gingen op zoek naar factoren die de RAMS prestatie van producten beïnvloeden en zo dus ook de product support, onderhoudsbehoeften en kosten. Van Bussel en Zaaijer (2001) onderzochten de RAM aspecten van een groot offshore windmolen park. Tsang (2002) spreekt over RAMS als hij het heeft over strategische keuzes in onderhoudsmanagement. Eti et al. (1997) onderzocht de integratie van RAM en ondersteuning met risico analyse voor het verbeteren van het functioneren van een warmte krachtcentrale. Barabady (2005) deed een onderzoek naar het verbeteren van de beschikbaarheid van graafmachines in een bauxietmijn, door het toepassen van R en M analyses.

In andere onderzoeken gaat het puur om het ontwerpen van een wiskundig of statistisch model, waarbij de invloedsfactoren slechts als input dienen en verder niet besproken worden (o.a. Borgonovo et al. (2000), Raipal et al. (2006), Marsequerra et al. (2006)).

4.1.2. Mate van invloed onduidelijk

De genoemde studies benoemen factoren die de RAMS prestatie van een systeem beïnvloeden. Vaak zijn deze factoren niet naar voren gekomen uit het onderzoek wat in de studies uitgevoerd is, maar worden terstond genoemd in de literatuurbeschrijving of in een redenering van de onderzoeker zelf. De invloedsfactoren worden in de meeste onderzoeken zonder argumentatie gepresenteerd. Ze vormen een opsomming van factoren die de R, A of M van een systeem beïnvloeden. Het blijft onduidelijk waarom de genoemde factoren invloed hebben op de RAMS prestatie van een systeem.

4.1.3. Overzicht factoren literatuur

De factoren “omgeving van het systeem”, “onderhoudsstrategie, specificaties en procedures” en “onderhoudspersoneel” worden het meest frequent genoemd in de literatuur. Andere factoren die

eruit springen zijn: LCC, materiaalkeuze, menselijke impact op het ontwerpproces, bouw, gebruiksintensiteit, bedieningspersoneel, tijd benodigd voor uitvoeren van onderhoud en onderhoudsfaciliteiten. In bijlage 4A is beschreven in welke context de verschillende onderzoekers de invloedsfactoren genoemd hebben. In bijlage 4B is een lijst gegeven van alle genoemde invloedsfactoren per RAMS aspect en per literatuurbron. In Tabel 3 is weergegeven hoe vaak een invloedsfactor genoemd wordt in de literatuur. Voor elke bron waar een invloedsfactor genoemd wordt is een kruisje gezet in de tabel. Hierbij is ook aangegeven of de invloed beschreven was op een van de RAMS aspecten of op RAMS in het algemeen. De hiërarchie in de tabel in deze bijlage komt overeen met die van Tabel 6 en ook met de lijst met definities in paragraaf 4.2. De tabel zegt iets over de verhoudingen tussen de invloedsfactoren ten opzichte van elkaar. De werkwijze van hoe de invloedsfactoren gegroepeerd en gebundeld zijn is beschreven in bijlage 4C. Hier wordt ook verteld dat er na een brainstormsessie met een expert op het gebied van wegen nog 3 factoren aan de lijst zijn toegevoegd, om een zo volledig mogelijke lijst te krijgen. Het resultaat van het groeperen en bundelen van invloedsfactoren is weergegeven in Bijlage 4D.

Wat opvalt als naar de factoren wordt gekeken die genoemd worden in de literatuur, is dat 3 van de 6 invloedsfactoren die vaker dan 4 keer genoemd worden, onderhoud gerelateerd zijn. Ook wordt in veel literatuurbronnen gewezen op de invloed op de onderhoudbaarheid (te zien aan het grote aantal kruisjes in kolom M van onderhoudbaarheid). De beschouwde literatuur over RAMS is dus vooral gefocust op het onderhoud en de onderhoudbaarheid.

De literatuur over RAMS is aan de ene kant behoorlijk eenduidig. Er worden in de onderzoeken en rapporten vooral factoren genoemd die direct invloed hebben op de betrouwbaarheid en de onderhoudbaarheid van een systeem. Vaak wordt dit gedaan om de kwaliteit of de beschikbaarheid van het systeem te verbeteren. Aan de andere kant verschillen de literatuurbronnen wel, want in bijna elke bron worden wel één of meerdere factoren genoemd die nog niet door anderen zijn beschreven. Invloedsfactoren op de veiligheid worden alleen door CENELEC concreet genoemd. Andere bronnen zeggen slechts in het algemeen dat een slechte betrouwbaarheid ook de veiligheid kan aantasten.

Doordat de argumentatie bij het noemen van invloedsfactoren veelal ontbreekt zijn er geen tegenstrijdigheden tussen de bronnen aan te wijzen. Wel verschilt het per bron en soort systeem wat beschouwd wordt, welke invloedsfactoren genoemd worden.

4.1.4. Snelwegstelsel verschilt van systemen in literatuur

Doordat een snelwegstelsel verschilt van de systemen die in de literatuur beschouwd zijn, kunnen de resultaten uit deze analyse van de literatuur niet één op één overgenomen worden als we een verwachting willen uitspreken over de belangrijkste invloedsfactoren op een snelwegstelsel. Echter zijn in de onderzoeken veel verschillende soorten systemen beschouwd en hieruit komen wel enkele belangrijke invloedsfactoren duidelijk naar voren. De verwachting is dat de factoren “omgeving van het systeem”, “onderhoudsstrategie, specificaties en procedures” en “onderhoudspersoneel” ook bij een snelwegstelsel veel invloed zullen hebben. Waar in de literatuur vooral de nadruk ligt op de ontwerpkeuzes, omgeving en het onderhoud, verwacht ik dat wanneer een snelwegstelsel beschouwd wordt ook het gebruik en de gebruikers veel invloed op het systeem zullen hebben.

		RAMS aspecten				Algemeen	Totaal	Toegevoegd na brainstorm
hiërarchie	invloedsfactoren	R	A	M	S	RAMS	#	
1	systeemeigenschappen							
1.1	het ontwerp							
1.1.1	specificaties							
1.1.1.1	vereiste kwaliteit eindproduct			X		X	2	
1.1.1.2	gevraagde capaciteit systeem		X				1	
1.1.1.3	Life Cycle Costs			XX		XX	4	
1.1.1.4	ontwerplevensduur systeem					X	1	
1.1.1.5	wettelijke eisen en randvoorwaarden					X	1	
1.1.1.5.1	veiligheidseisen				X		1	
1.1.1.6	scope wijzigingen						0	X
1.1.2	ontwerpkeuzes							
1.1.2.1	materiaalkeuze	X	X	X		X	4	
1.1.2.1.1	duurzaamheid (sustainability)			X			1	
1.1.2.1.2	prestaties technische componenten en installaties					XX	2	
1.1.2.1.3	productleveranciers						0	X
1.1.2.2	geometrie van de weg					X	2	
1.1.2.3	vervangbaarheid			X			1	
1.1.2.4	menselijke impact op het ontwerpproces	X				XXX	4	
1.1.3	complexiteit van het systeem					X	1	
1.1.4	software						0	X
1.2	bouw van het systeem	X				XXX	4	
1.3	omgeving van het systeem	X	X	XXX		XXXXXX	11	
2	exploitatie eigenschappen							
2.1	gebruiksomstandigheden							
2.1.1	gebruiksintensiteit en I/C verhouding			X		XXXXX	6	
2.1.2	Belasting voertuigen	X					1	
2.1.3	weggebruikers / incidenten					X	1	
2.1.4	incident afhandeling				X		1	
2.2	bedieningsomstandigheden							
2.2.1	bedieningspersoneel		X			XXXXX	6	
2.2.2	bedienings- en veiligheidsprocedures					X	1	
2.2.3	informatie			X			1	
2.2.4	diensten door externe partijen					X	1	
2.3	verandering "Mission profile"					X	1	
3	onderhoudsomstandigheden							
3.1	onderhoudsstrategie, specificaties en procedures	X	X	X		XXXXXXX	10	
3.2	uitvoering onderhoud							
3.2.1	defecten door onderhoudswerkzaamheden				X	X	2	
3.2.2	tijd benodigd voor uitvoeren onderhoud		X	XX	X	XX	6	
3.2.3	testen		X	X		X	3	
3.2.4	onderhoudsomgeving					XX	2	
3.2.5	onderhoudspersoneel		X	XXXXX	X	XXXX	11	
3.2.6	onderhoudsfaciliteiten			XX	X	X	4	
3.2.7	onderhoud aan veiligheidssysteem en veiligheid gerelateerde faalmodus				X		1	
3.2.8	veiligheidsvoorschriften			X		X	2	
3.2.9	diensten door externe partijen			X			1	
Legenda Elk kruisje (X) staat voor een literatuurbron over RAMS (zie overzicht RAMS literatuur in Tabel 3) waarin deze invloedsfactor genoemd wordt. De invloedsfactoren die oranje gekleurd zijn worden 4 keer of vaker genoemd De invloedsfactoren die rood gekleurd zijn worden 10 keer of vaker genoemd								

Tabel 3: Aanwezigheid van invloedsfactoren op RAMS in literatuur

4.2. Definities invloedsfactoren

Voor elke invloedsfactor wordt een nadere toelichting gegeven, om zo duidelijk te maken wat er precies mee bedoeld wordt. Het gaat hier niet om wetenschappelijke definities, maar om een werkdefinitie waarmee de onderzoeker de experts allen op dezelfde manier kan bevragen. Ervaring leert immers dat begrippen meervoudig interpreteerbaar zijn. Alleen de invloedsfactoren die telkens op het laagste hiërarchische niveau zitten worden aan de experts voorgelegd. Dit zijn de invloedsfactoren waarvoor werkdefinities voor zijn opgesteld. De bovenliggende invloedsfactoren worden inhoudelijk gedekt door de onderliggende invloedsfactoren (dit wordt uitgebreid uitgelegd in bijlage 4C). De invloedsfactoren zijn genummerd (overeenkomend met de kolommen van de tabel in Bijlage 4D), om ook zo de hiërarchie tussen de invloedsfactoren terug te laten komen in deze uitgeschreven lijst met invloedsfactoren en de bijbehorende definities. De hiërarchie zegt niets over de mate van invloed op de RAMS prestatie van een systeem. De definities zijn hieronder weergegeven.

1 Systeemeigenschappen

1.1 Het ontwerp (van het systeem)

1.1.1 Specificaties

1.1.1.1 Vereiste kwaliteit eindproduct

Aan welke kwaliteitseisen het systeem moet voldoen. Bijvoorbeeld een minimaal geëiste kwaliteit of soort van asfalt.

1.1.1.2 Gevraagde capaciteit systeem

De capaciteitseis waaraan het systeem moet voldoen. Het aantal motorvoertuigen (MVT) per uur waarvoor het systeem ontworpen wordt.

1.1.1.3 Life Cycle Costs

Het budget dat aanwezig is voor de gehele levenscyclus van het systeem. Dit is dus inclusief ontwerp-, bouw-, en exploitatiekosten. Wat is de invloed van een hoger of lager budget op de kwaliteit van het systeem? Hierbij geldt dat het aantal rijstroken gelijk blijft.

1.1.1.4 Ontwerplevensduur systeem

De totale tijd waarover het systeem operationeel moet zijn. Voor een wegsysteem is dit totdat het systeem gerenoveerd of gesloopt wordt.

1.1.1.5 Wettelijke eisen en randvoorwaarden excl. veiligheidseisen

Eisen aan o.a. luchtkwaliteit (fijnstof), geluidshinder, verlichting, stroomvoorziening, bodem en water, veiligheidseisen en afwatering. Hierbij ook meenemen dat door wettelijke eisen extra systeemonderdelen aan het systeem toegevoegd worden. Ook denken aan het reinigen van geluidsschermen en ZOAB.

1.1.1.5.1 Veiligheidseisen

Interne veiligheid, externe veiligheid, brandveiligheid enz.

1.1.1.6 Scopewijzigingen

Wijzigingen in de scope van het project. Deze kunnen plaatsvinden in zowel de ontwerp- als in de bouwfase.

1.1.2 Ontwerpkeuzes

1.1.2.1 Materiaalkeuze (excl. Sustainability, Prestaties technische componenten en installaties, Productleveranciers)

De keuze tussen het gebruik van verschillende soorten materialen, componenten en installaties. Hierbij zijn de materiaaleigenschappen van het gekozen materiaal van groot belang. Voorbeelden van eigenschappen zijn vermoeidheid, corrosie, levensduur, elektrische storingen. Ook de duurzaamheid (durability) is afhankelijk van de materiaalkeuze.

1.1.2.1.1. Duurzaamheid (sustainability)

De invloed van CO² neutraal geproduceerde systeemonderdelen op de RAMS kwaliteit.

1.1.2.1.2. Prestaties technische componenten en installaties

De keuze tussen verschillende componenten en installaties. Elke component of installatie heeft zijn eigen eigenschappen. Prestaties kunnen afhankelijk zijn van de leverancier, het aantal, de leeftijd, plaats ten opzichte van elkaar etc. De invloed van de prestaties van de technische componenten / installaties / apparaten zelf.

1.1.2.1.3. Productleveranciers

De leveranciers van de verschillende onderdelen binnen het systeem. Hieronder valt ook het aantal leveranciers van vergelijkbare technische installaties en producten.

1.1.2.2 Geometrie van de weg

Hierbij gaat het om de afmetingen van de weg (bijv. de breedte), de bochtigheid, hellingen, en het aantal aansluitingen.

1.1.2.3 Vervangbaarheid

Vervangbaarheid zegt iets over de mate van simpliciteit waarmee systeemonderdelen vervangen kunnen worden.

1.1.2.4 Menselijke impact op het ontwerpproces

Ontwerpen is mensenwerk. Door het menselijk denken wordt het ontwerpproces beïnvloed. Mensen maken fouten, hoewel afhankelijk van opleiding, kennis en ervaring.

1.1.1.6 Scope wijzigingen

De scope van het project wordt gewijzigd.

1.1.3 Complexiteit van het systeem (excl. Software)

Binnen het systeem bestaan veel afzonderlijke onderdelen die allerlei vormen van interactie vertonen. Hierbij kan gedacht worden aan de vele fysieke componenten waaruit het systeem is opgebouwd. Echter, hierbij moet ook gedacht worden aan het naast elkaar bestaan van automobilisten, passagiers, vrachtverkeer, personeel en hulpdiensten in de operationele ruimte. Ook het gebruik van software binnen het systeem vergroot de complexiteit.

1.1.4 Software

Het gebruik van software binnen het systeem. Software kan fouten bevatten en er kunnen zich compatibiliteitsproblemen voordoen. Hieronder valt ook het aantal verschillende softwareprogramma's, de aansluiting op andere programma's en softwarecomplexiteit.

1.2 Bouw van het systeem

De bouw van het systeem kan de kwaliteit van het systeem beïnvloeden. Denk hierbij aan onjuiste afstemming tussen het ontwerp en de bouw, fouten tijdens de uitvoering, test werkzaamheden, het leveringsproces en de bouwomstandigheden.

1.3 Omgeving van het systeem

De omgeving waarbinnen het systeem zich bevindt en de directe omgeving die het systeem kan beïnvloeden. De omgeving is dikwijls verschillend (per systeem) en kan veranderen gedurende de levensduur van het systeem. De omgeving kan beperkingen opleggen aan het systeem. Het systeem is in een bepaalde mate geïntegreerd in de omgeving. Het bepaalt ook de beschikbare ruimte waarin het systeem moet functioneren. Hieronder vallen de bereikbaarheid van het systeem voor bouwwerkzaamheden, onderhoud en hulpdiensten. Ook de afvoercapaciteit van het onderliggende wegennet valt onder de omgeving. Onder omgeving valt ook de natuurlijke invloed, zoals de temperatuur, vochtigheid, neerslag, gladheid, stof, verzakkingen, maar ook buitengewone weersomstandigheden. Ook natuurrampen als aardbevingen en overstromingen vallen hieronder te rekenen.

2 Exploitatie eigenschappen

2.1 Gebruiksomstandigheden

2.1.1 Gebruiksintensiteit en Gebruiksintensiteit/Capaciteit (I/C) verhouding

Het aantal weggebruikers dat gebruik maakt van het systeem. Als de intensiteit / capaciteit verhouding boven de 1 komt is er sprake van filevorming ($I/C > 1$ = overbelasting van het systeem).

2.1.2 Belasting voertuigen

Door de jaren heen is de belasting van vrachtwagens gestegen. Ook kan er sprake zijn van overbelasting.

2.1.3 Weggebruikers / incidenten

De personen en voertuigen die gebruik maken van het systeem. Door de manier waarop de weggebruikers handelen op de weg beïnvloed de prestatie van het systeem. De weggebruikers kunnen het slachtoffer worden van een incident. Ze kunnen het veroorzaken, maar ook zonder hun eigen invloed betrokken raken.

2.1.4 Incident afhandeling

Hieronder valt: de incidentafhandeling (o.a. bergingsdiensten, verkeerscentrale), het ingrijpen van hulpdiensten (politie, brandweer, ambulance etc.), maar ook kijkers naar het incident en de gevolgen daarvan.

2.2 Bedieningsomstandigheden

2.2.1 Bedieningspersoneel

Personeel wat het systeem kan beïnvloeden door het systeem aan te sturen (bijv. werknemers van verkeerscentrale). Hierbij moet rekening gehouden worden met menselijke factoren (menselijke fouten en menselijk ingrijpen), de vaardigheden van het bedieningspersoneel (deskundigheid, training), aantal werknemers, ernst van de toegewezen taken, werkgewoontes etc. Ook de interface met software valt hier onder.

2.2.2 Bedienings - en veiligheidsprocedures

Voorschriften hoe er gehandeld dient te worden in bepaalde situaties.

2.2.3 Informatie

Het gebruik van informatie. Hieronder vallen ook de informatiestroom en de interpretatie van informatie.

2.2.4 Diensten door externe partijen (bij bediening)

Diensten door partijen die geen onderdeel van het ontworpen systeem zijn.

2.3 Verandering “Mission profile”

De weg wordt niet meer op dezelfde manier gebruikt als het oorspronkelijke doeleinde waarvoor het ontworpen is.

3 Onderhoudseigenschappen

3.1 Onderhoudsstrategie, specificaties en procedures

Voorschriften over wanneer en hoe er onderhoud uitgevoerd dient te worden. De keuze tussen de mate van preventief en correctief onderhoud. Ontoereikend onderhoud of juist goed onderhoud valt hier ook onder.

3.2 Uitvoeren onderhoud

3.2.1 Defecten door onderhoudswerkzaamheden

Systeemonderdelen die defect gaan of beschadigen als gevolg van onderhoudswerkzaamheden.

3.2.2 Tijd benodigd voor uitvoeren onderhoud

Hieronder valt de administratieve vertraagtijd (detectie, identificatie en lokalisatie), de logistieke vertraagtijd en de onderhoudstijd.

3.2.3 Testen

Sommige systeemonderdelen dienen op een getest te worden (bijv. na onderhoud, vervanging of incident). Hierbij speelt het testmateriaal een rol. Ook de misschien beperkte mogelijkheid voor het testen van het complete systeem valt hieronder.

3.2.4 Onderhoudsomgeving

De omgeving waarbinnen het onderhoud moet worden uitgevoerd. Hierbij moet ook gedacht worden aan het verkeer dat dikwijls behouden moet blijven tijdens het uitvoeren van (klein) onderhoud. Hieronder valt ook het langs de weg werken en verkeersmaatregelen tijdens onderhoud.

3.2.5 Onderhoudspersoneel

Hieronder valt onder andere: vaardigheden onderhoudspersoneel (deskundigheid en training), menselijke fouten, aantal werknemers, ernst van toegewezen taken, werkgewoontes en onderhoudsinstructies.

3.2.6 Onderhoudsfaciliteiten

Betreffen alle faciliteiten die gebruikt worden bij het uitvoeren van onderhoud, zoals de beschikbaarheid van reserveonderdelen en gereedschap ter plaatse en op een bepaald tijdstip (bijv. bepaald type camera wat niet langer beschikbaar is).

3.2.7 Onderhoud aan veiligheidssysteem en veiligheid gerelateerde faalmodus

Onderhoud aan systeemonderdelen die de veiligheid moeten waarborgen en onderhoud aan systeemonderdelen die de veiligheid kunnen beïnvloeden.

3.2.8 Veiligheidsvoorschriften

Veiligheidsvoorschriften voor onderhoudspersoneel en weggebruikers tijdens onderhoud

3.2.9 Diensten door externe partijen (bij onderhoud)

Diensten door partijen die geen onderdeel van het systeem zijn.

Deze factoren met bijbehorende definities zijn in de volgende stap van dit onderzoek tijdens een persoonlijk interview voorgelegd aan experts. In het volgende hoofdstuk wordt de werkwijze en de resultaten hiervan besproken.

5. Invloedsfactoren RAMS prestatie snelwegstelsel

In het vorige hoofdstuk is beschreven hoe een lijst met invloedsfactoren uit de literatuur is samengesteld. Dit zijn mogelijke invloedsfactoren op de RAMS prestatie van een stelsel. De volgende stap in het onderzoek is te onderzoeken in hoeverre deze factoren overeenkomen met de invloedsfactoren op de RAMS prestatie van een snelwegstelsel. De bevindingen hiervan worden in dit hoofdstuk gepresenteerd.

5.1. Inleiding

Door middel van interviews met experts uit de praktijk van de snelweginfrastructuur zal getoetst worden in hoeverre de mogelijke invloedsfactoren van toepassing zijn op een snelwegstelsel. Daarnaast krijgen de experts de mogelijkheid om nog andere belangrijke invloedsfactoren op de RAMS prestatie voor een snelwegstelsel te noemen.

Het resultaat van de interviews met de experts is een toets van de invloedsfactoren uit de literatuur op een snelwegstelsel. Daarnaast geeft het een overzicht van wat de belangrijkste invloedsfactoren zijn op een snelwegstelsel. Deze belangrijkste invloedsfactoren geven een goede richting voor het vinden van maatregelen of oplossingen om de RAMS prestatie van een snelwegstelsel te verbeteren. Dit laatste zal in de volgende stap van het onderzoek, de workshop, verder worden uitgewerkt.

De werkwijze van de interviews met de experts is beschreven in bijlage 5A. In bijlage 5B staat de informatie die aan de expert verstrekt is voorafgaand aan het interview. In bijlage 5C is het informatie verzamelinstrument weergegeven. In bijlage 5D wordt beknopt een omschrijving van de RAMS aspecten en niveaus van invloed gegeven. De uitgeschreven interviews staan in bijlage 5E. Ook de uitgebreide analyse van de resultaten is in de bijlage (5F) terug te vinden.

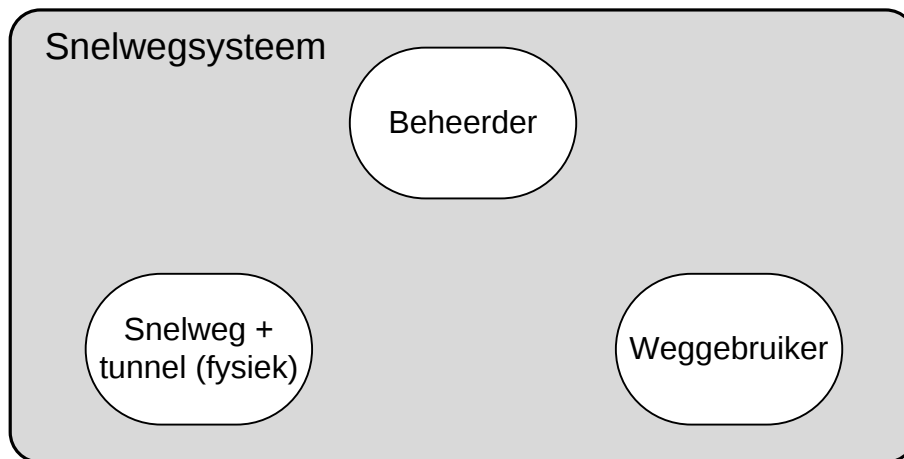
5.2. Snelwegstelsel

Tijdens het interview met de expert is gesproken over de mate van invloed van de invloedsfactoren op een snelwegstelsel. Hierbij is het van groot belang duidelijk te hebben omschreven wat er onder een snelwegstelsel wordt verstaan. In dit onderzoek is een snelwegstelsel gedefinieerd als een snelweg met als onderdeel daarin een verkeerstunnel. Door zowel de weg als de tunnel in dit onderzoek te beschouwen kunnen de verhoudingen tussen deze onderdelen zichtbaar gemaakt worden.

In dit onderzoek worden niet alleen de technische installaties en de fysieke weg bekeken, maar ook alle andere zaken die invloed hebben op de kwaliteit en prestaties van het snelwegstelsel. De snelweg wordt als een socio-technisch stelsel bekeken, zoals beschreven in de scope van het onderzoek in paragraaf 2.3.3. Als snelwegstelsel wordt daarom het geheel gezien van:

- Wegbeheerder
- Weggebruiker
- Fysiek stelsel van de snelweg en verkeerstunnel

Dit is schematisch weergegeven in Figuur 14.



Figuur 14: snelwegstelsysteem

5.3. Belangrijkste invloedsfactoren

De invloedsfactoren met de hoogste mate van invloed op de RAMS prestatie van een snelwegstelsysteem zijn weergegeven in Tabel 4. Er is voor gekozen om per RAMS aspect de drie invloedsfactoren met de meeste invloed hierop te selecteren. Deze werkwijze heeft geleid tot een lijst van 9 invloedsfactoren. De niveaus van mate van invloed op de verschillende RAMS aspecten zijn reeds beschreven in Hoofdstuk 3.

	invloed op			
invloedsfactor	R	A	M	S
materiaalkeuze	hoog	hoog	middel	laag
weggebruikers / incidenten	hoog	hoog	laag	hoog
complexiteit van het systeem	hoog	hoog	hoog	hoog
veiligheidseisen	middel	hoog	middel	zeer hoog
vervangbaarheid en modularisering	laag	middel	hoog	laag
onderhoudsstrategie, specificaties en procedures	middel	hoog	hoog	middel
menselijke impact op het ontwerpproces	middel	hoog	hoog	middel
geometrie van de weg	laag	laag	middel	hoog
onderhoudsomgeving	laag	laag	hoog	hoog

Tabel 4: invloedsfactoren met de hoogste mate van invloed op RAMS prestatie van een snelwegstelsysteem

De invloedsfactor “vereiste kwaliteit eindproduct” kon door de experts maar moeilijk geplaatst worden. Dit is ook te zien aan de hoge variantie (zie tabel in bijlage 5F) en dus de grote verschillen tussen de antwoorden van de experts. Volgens de meeste experts heeft een vanzelfsprekende invloed op de RAMS prestatie. Hoe hoger de vereiste kwaliteit is, hoe hoger de kwaliteit van het eindproduct zal zijn en dus de prestatie op alle aspecten van RAMS. Er is voor gekozen om deze invloedsfactor niet verder te beschouwen in het vervolg van dit onderzoek, de workshop. In de korte tijd die beschikbaar is voor de workshop is het interessanter om andere invloedsfactoren te bespreken.

In dit onderzoek was telkens de invloed op de RAMS prestatie negatief geformuleerd. Een invloedsfactor kan echter soms zowel een positieve als een negatieve invloed hebben op de RAMS prestatie van een snelwegstelsysteem. Bij alle invloedsfactoren is aangegeven wat de netto bijdrage is.

Wanneer die positief is, wat een uitzondering is, dan is dat aangeven door het vakje wit te laten. “Veiligheidseisen” hebben vanzelfsprekend een positief effect op de veiligheid. “Vervangbaarheid en modularisering” heeft een positief effect op de beschikbaarheid, onderhoudbaarheid en de veiligheid.

5.3.1. Bespreking belangrijkste invloedsfactoren

Er volgt nu een bespreking van de belangrijkste invloedsfactoren. Er wordt aan de hand van de redeneringen van de experts uitgelegd waarom de invloed hoog of laag is. Ook wordt beredeneerd hoe een factor haar invloed uitoefent op het snelwegsysteem. De experts zullen hier aangeduid worden met een nummer. In bijlage 5A is weergegeven voor welke organisatie de experts werkzaam zijn.

Materiaalkeuze

Meerdere experts benoemen de hoge invloed van de materiaalkeuze op de prestatie van een snelwegsysteem. Expert 1 zegt dat een keuze voor materialen met een lagere kwaliteit, de veiligheid negatief beïnvloedt. Slecht asfalt, of een tegeltje dat los komt, kan een ongeval veroorzaken. Expert 7 stelt echter dat er bij een keuze tussen materialen wel altijd aan de veiligheidseisen moet worden voldaan. Het heeft dus niet zoveel invloed op de veiligheid.

Volgens expert 1 zullen, door kwalitatief minder goede materialen te kiezen (wat vaak gebeurt), onderdelen sneller slijten en dus vaker vervangen moeten worden. Het beïnvloedt de betrouwbaarheid en beschikbaarheid negatief.

Volgens expert 3 en expert 4 hangt de materiaalkeuze erg samen met de kwaliteit van je ontwerp. Expert 5 geeft aan dat er al veel materiaalkeuzes gemaakt worden in de ontwerpfase, maar dat ook veel nog gekozen wordt tijdens de uitvoering. Hier kiest men de leverancier van de materialen.

Weggebruikers / incidenten

Volgens expert 10 veroorzaken storingen de meeste niet-beschikbaarheid. Hij geeft aan dat het dan vooral verstoringen door de omgeving zijn (niet het fysieke systeem zelf), voornamelijk de weggebruiker. Expert 7 vult hierbij aan dat met een ontwerp een situatie wordt gecreëerd waarop de weggebruikers gaan reageren. Met het ontwerp kan dus de manier waarop weggebruikers handelen enigszins worden veranderd. Toch blijft de weggebruiker zelf een bron van falen (hij let niet op, valt in slaap enz.). In dit kader weet expert 1 te melden dat een hoger attentieniveau van de weggebruiker, een hogere veiligheid betekent. Expert 3 en expert 4 vertellen dat rond Rotterdam er elke dag even een tunnel dicht gaat als gevolg van hoogtedetectie. Dit beïnvloedt vooral de betrouwbaarheid en beschikbaarheid negatief.

De mate van onveiligheid in het verkeer, wordt voornamelijk bepaald door snelheidsverschillen tussen weggebruikers (expert 1). Aangezien er zich op snelwegen vaak grote snelheidsverschillen voordoen, kunnen er veel incidenten plaatsvinden. Toch zorgen de weggebruikers volgens expert 6 niet voor extreem veel onveiligheid als we over letselschade spreken. Bij incidenten is het zo dat in 99% van de gevallen er alleen blikshade is. Op het moment dat de hulpdiensten arriveren op de plek van het onheil, dan is de stremming ook voorbij. Er gebeuren maar heel weinig secundaire ongelukken.

Complexiteit van het systeem

Bij snelwegen in Nederland geldt een bepaalde mate van complexiteit. Expert 1 zegt dat een complex systeem minder veilig is. Dit komt door de afstemming tussen de verschillende onderdelen. Veel verlichting is goed voor de veiligheid, maar is lastig te onderhouden in het midden van de tunnel. Als de tunnel dan ook nog een beperkte hoogte heeft maakt dit het vraagstuk extra moeilijk. Complexiteit betekent eisen uit meerdere invalshoeken (brandveiligheid, arbo-veiligheid, bereikbaarheid, omgeving etc.). Expert 6 vindt dat er een paradox bestaat tussen de complexiteit van het systeem en de veiligheid ervan. Door veiligheidseisen wordt het systeem meer complex, maar door de verhoogde complexiteit wordt het weer minder veilig.

Veiligheidseisen

Expert 1 zegt dat er door veiligheidseisen extra werkzaamheden moeten worden uitgevoerd, bijvoorbeeld het reinigen van een vluchtstrook (zonder veiligheidseisen geen vluchtstrook). De tunnelwetgeving heeft een positieve invloed op de veiligheid. Het zorgt voor uitgebreidere bewakingssystemen, die kunnen echter storingen vertonen. Doordat bij een storing de tunnel wordt afgesloten heeft dit een negatieve invloed op de beschikbaarheid. De kans bestaat ook dat een storing een keer niet zo snel wordt gevonden. Gevolg is een sterk negatief effect op de onderhoudbaarheid en beschikbaarheid. Maar door minder ongevallen, is de beschikbaarheid ook hoger. Het effect is wellicht neutraal volgens expert 1.

Expert 6 vertelt dat met de keuze voor veiligheidseisen in een tunnel eigenlijk een keuze wordt gemaakt ten nadele van de beschikbaarheid. Veiligheid is dan belangrijker dan de beschikbaarheid, want je sluit een weg af. Een invloedsfactor heeft dus invloed op de veiligheid, waardoor de weg wordt afgesloten en het dan effect heeft op de beschikbaarheid.

Men heeft het vaak over veiligheidssystemen, terwijl het vaak veiligheidsgerelateerde systemen zijn (expert 2). Expert 2 vraagt zich ernstig af of de veiligheidsgerelateerde systemen in de tunnel wel echt veiligheid gerelateerd zijn. Misschien alleen een paar, maar veel minder dan we denken. Vanuit een veiligheidsprincipe uit een heel andere wereld (spoor infrastructuur en de machinebouw), sluiten we dan de tunnel af, wat eigenlijk helemaal niet hoeft. De weggebruiker is immers goed in staat om te zien of hij door kan rijden of niet. De veiligheidssystemen of veiligheidsgerelateerde systemen hebben dus een sterk negatief effect op de beschikbaarheid.

Expert 2 vertelt dat wij voor de beschikbaarheid en voor de veiligheid dezelfde principes toepassen, terwijl dat eigenlijk niet juist is. Redundantie is goed bij systemen die de beschikbaarheid verhogen, maar nadelig bij veiligheid gerelateerde systemen, want dan gaat de beschikbaarheid snel achteruit.

Vervangbaarheid en modularisering

Alle experts zijn het er over eens dat de invloedsfactor vervangbaarheid het systeem niet betrouwbaarder maakt. Wel wordt het onderhoud hierdoor meer voorspelbaar en kan het sneller worden uitgevoerd. Expert 6 meldt hierbij nog dat in het ontwerpproces al redelijk vaak keuzes worden gemaakt: of het in het werk wordt gemaakt, of dat er standaard componenten worden gebruikt. Er wordt vaak gekozen voor standaardcomponenten, omdat die eenvoudiger te vervangen zijn. Voorbeeld is een oplegging van een viaduct. Die moet een keer in de zoveel tijd worden vervangen. Deze oplegging kan worden meestort, maar ook los inzetbare componenten kunnen gebruikt worden. In dat geval kan het dek gewoon worden opgetild en de oplegging eenvoudig worden vervangen. Dit scheelt dus zeer veel in beschikbaarheid.

Onderhoudsstrategie, specificatie en procedures

Alle experts zijn het er over eens dat de onderhoudsstrategie veel invloed heeft op je onderhoudbaarheid, betrouwbaarheid en beschikbaarheid. Expert 9 en Expert 10 hebben het in dit kader over prestatie onafhankelijk onderhoud; ook alvast onderdelen vervangen die nog prima werken, zodat je over een tijdje niet weer de weg op moet. Er wordt dan veel onderhoud tegelijkertijd uitgevoerd.

Menselijke impact op het ontwerpproces

De experts zijn het er over eens dat de menselijke impact op het ontwerpproces van grote invloed is op de RAMS prestatie. Expert 2 vindt dat wij mensen niet heel goed nadenken over oplossingen. Dit kunnen wij mensen eenvoudigweg niet, tenzij er echt heel veel geld en tijd aan besteed wordt. Hier voegt expert 2 aan toe dat als referentie voor onze ontwerpen we altijd de bestaande situatie gebruiken. We bouwen snelwegen nou eenmaal op de manier hoe we altijd snelwegen bouwen. Veel keuzes worden vanzelfsprekend al gemaakt.

Expert 9 en Expert 10 stellen dat een goed of een slecht ontwerpteam zeer veel uitmaakt in de uiteindelijk kwaliteit die krijgt. De mens als invloedsfactor is het grootst. Want de mens maakt fouten. Samen met de ontwerptijd en kosten heeft het veel invloed op het ontwerp en dus de kwaliteit van het systeem.

Enkele experts geven aan dat er al van alles aan gedaan wordt om menselijke fouten uit het ontwerp te houden. Expert 7 zegt er natuurlijk wel gewerkt wordt met kwaliteitssystemen, waarin ontwerpen intern geverifieerd worden. Expert 1 heeft het in dit kader over een verificatiematrix om fouten uit het ontwerp te halen. Ook extern wordt nog een keer geverifieerd met de opdrachtgever. De evaring van expert 7 is niet dat menselijk fouten een vreselijke invloed hebben op de RAMS prestatie.

Expert 1 zegt dat menselijke beslissingen wel grote invloed kunnen hebben op het systeem. Vaak is dit een keuze die al vroeg in het proces genomen is, maar wel grote consequenties heeft voor de RAMS prestatie van het systeem.

Geometrie van de weg

Expert 7 meldt dat we voor de geometrie van een snelweg gebonden zijn aan regels en richtlijnen. De experts zijn het er wel over eens dat de geometrie vaak wordt gedwongen door de omgeving. Volgens Expert 8 heeft de geometrie in principe geen invloed op de betrouwbaarheid en beschikbaarheid en draagt het wel iets bij aan de onderhoudbaarheid. De geometrie van een weg draagt echter zeker wel bij aan de onveiligheid. Bochten, hellingen, aansluitingen etc. beïnvloeden de veiligheid negatief. Ook expert 6 weet te melden dat zijn ervaring is dat de geometrie veel invloed heeft op de veiligheid.

Onderhoudsomgeving

Veel experts gaven aan dat het werken langs de weg nog wel eens wat onveiligheid kan veroorzaken. Experts 9, 10 en 11 zeggen dat het voor de kwaliteit van onderhoud wat je uitvoert het nogal wat uit maakt of je het in één keer kan uitvoeren of dat je telkens maar één rijstrookje 's nachts in de regen mag doen. Vooral de vaak beperkte ruimte, het langs de weg werken en verkeersmaatregelen tijdens onderhoud beïnvloeden de voorspelbaarheid van het onderhoud, de veiligheid van de weggebruikers en het onderhoudspersoneel sterk negatief.

5.4. Opvallende resultaten ten opzichte van literatuur

De belangrijkste invloedsfactoren zoals uit de interviews naar voren is gekomen verschillen op sommige punten behoorlijk van wat er op basis van de literatuur over RAMS verwacht was. De opvallende resultaten zullen hier besproken worden. Voor de duidelijkheid zijn in Tabel 5 de veelvuldig genoemde invloedsfactoren (4x of vaker) uit de literatuur weergegeven.

categorie	invloedsfactoren	RAMS aspecten				Algemeen	Totaal
		R	A	M	S	RAMS	#
systeem	Life Cycle Costs			XX		XX	4
systeem	materiaalkeuze	X	X	X		X	4
systeem	menselijke impact op het ontwerpproces	X				XXX	4
systeem	bouw van het systeem	X				XXX	4
systeem	omgeving van het systeem	X	X	XXX		XXXXXX	11
exploitatie	gebruiksintensiteit en I/C verhouding			X		XXXXX	6
exploitatie	bedieningspersoneel		X			XXXXX	6
onderhoud	onderhoudsstrategie, specificaties en procedures	X	X	X		XXXXXXX	10
onderhoud	tijd benodigd voor uitvoeren onderhoud		X	XX	X	XX	6
onderhoud	onderhoudspersoneel		X	XXXXX	X	XXXX	11
onderhoud	onderhoudsfaciliteiten			XX	X	X	4

Tabel 5: Vaakst genoemde invloedsfactoren literatuur

De literatuur over RAMS beschrijft in bijna alle gevallen een technisch systeem (een product of een machine). Het snelwegstelsel zoals beschreven in dit onderzoek is een socio-technisch systeem. Daarnaast is het een infrastructuursysteem met een zeer grote omvang. Doordat een ander soort systeem beschouwd wordt is de verwachting dat er verschillen zijn tussen de belangrijkste invloedsfactoren uit de literatuur en uit de empirie (dit onderzoek).

Van de top 9 belangrijkste invloedsfactoren aangegeven door de experts zijn er slechts 3 die ook vaak genoemd worden in de literatuur over RAMS. De materiaalkeuze, menselijke invloed op het ontwerpproces en de onderhoudsstrategie zijn volgens dit onderzoek zowel belangrijk bij een technisch systeem, als bij het socio-technische systeem van een snelweg.

De 6 invloedsfactoren uit de top 9 die opvallen ten opzichte van de bestaande literatuur over RAMS worden hieronder besproken worden.

Weggebruikers / incidenten – In veel systemen die beschouwd worden in de literatuur over RAMS hoeft er geen rekening gehouden te worden met gebruikers. Op het spoor rijden alleen goed opgeleide machinisten. Bij machines zijn gebruikers helemaal geen onderdeel van het systeem.

Complexiteit van het systeem – Een snelwegstelsel is veel complexer dan een gemiddeld systeem wat in de literatuur besproken wordt. Een enkele machine is minder complex dan een snelweg waar naast de technische complexiteit ook meerdere disciplines samen komen.

Veiligheidseisen – Voor bijna alle soorten systemen bestaan veiligheidseisen, maar voor een snelweg en vooral een snelwegtunnel zijn deze eisen zeer streng, omdat immers de veiligheid van de weggebruikers gewaarborgd dient te worden.

Vervangbaarheid en modularisering – Bij het onderhouden van een snelweg komt meer kijken dan bij het onderhouden van een machine. Het onderhoud moet (soms) met behoud van wegverkeer en terplekke (in de buitenlucht) uitgevoerd worden. Vervangbaarheid en modularisering wat de

eenvoud en snelheid van de onderhoudswerkzaamheden vergroot, heeft op een snelwegstelsel hierdoor meer invloed.

Geometrie van de weg – Snelweg niet alle systemen (bijv. machines) hebben hier mee te maken.

Onderhoudsomgeving – Een groot verschil met andere systemen is dat er bij een snelweg vaak ter plekke aan het systeem gewerkt moet worden. Met als gevolg dat er dikwijls langs de weg gewerkt moet worden terwijl deze nog gebruikt wordt door wegverkeer. Deze onderhoudsomgeving verschilt aanzienlijk van een werkplaats of een fabriekshal waar het gebruik van het systeem (bijv. een machine) stilgezet kan worden, voordat er onderhoud aan wordt gepleegd.

5.5. Invloed per levenscyclusfase

De levenscyclusfases waarin de invloedsfactoren haar invloed uitoefenen op een snelwegstelsel zijn zeer interessant om nader te bekijken. In de onderstaande tabel is dit voor de invloedsfactoren met de hoogste mate van invloed op de RAMS prestatie van een snelwegstelsel weergegeven. De percentages in de tabel visualiseren in welke levenscyclusfases de invloedsfactor haar invloed uitoefent op het systeem. De volledige tabel met alle invloedsfactoren is terug te vinden in bijlage 5F.

hiërarchie	invloedsfactoren	Levenscyclusfases			
		initiatief	ontwerp	realisatie	gebruik
1.1.1.5.1	veiligheidseisen	25%	51%	14%	7%
1.1.2.1	materiaalkeuze	18%	76%	7%	0%
1.1.2.2	geometrie van de weg	23%	77%	0%	0%
1.1.2.4	menselijke impact op het ontwerpproces	23%	77%	2%	0%
1.1.2.5	vervangbaarheid en modularisering	11%	71%	8%	9%
1.1.3	complexiteit van het systeem	38%	35%	23%	5%
2.1.3	weggebruikers / incidenten	0%	15%	0%	85%
3.1	onderhoudsstrategie, specificaties en procedures	8%	39%	8%	44%
3.2.4	onderhoudsomgeving	11%	6%	0%	83%

Tabel 6: belangrijkste invloedsfactoren en invloed per levenscyclusfase

In Tabel 6 is in het klein het effect te zien wat in de volledige tabel beter zichtbaar is. Namelijk dat de invloedsfactoren die ingedeeld zijn in de categorie 1: systeemeigenschappen vooral invloed hebben in de ontwerp fase. De invloedsfactor “complexiteit van het systeem” is een kleine uitzondering hierop, want volgens de experts wordt dit voornamelijk in de initiatieffase bepaald. De invloedsfactoren uit de categorieën 2: exploitatie en 3: onderhoud hebben vooral haar invloed tijdens de gebruiksfase. De invloedsfactor “onderhoudsstrategie, specificaties en procedures” is een kleine uitzondering hierop, want volgens de experts wordt een groot gedeelte hiervan ook tijdens de ontwerpfase bepaald.

De informatie uit deze laatste tabel wordt gebruikt om het vinden van oplossingen te sturen tijdens de workshop. De invloedsfactor kan immers het beste beïnvloed worden in de fase waarin het de meeste invloed uitoefent op het systeem.

6. Mogelijke maatregelen

In dit hoofdstuk worden mogelijke maatregelen beschreven, waarmee de invloedsfactoren op de RAMS prestatie van snelwegsystemen beïnvloed kunnen worden, met als doel het verbeteren van deze RAMS prestatie. In een casestudy design workshop zijn door experts mogelijke maatregelen geïdentificeerd. Eerst zal de werkwijze van de workshop beschreven worden en vervolgens de case. Hierna worden de resultaten besproken.

6.1. Case study Design Workshop

Zoals beschreven in het onderzoeksplan, is er voor gekozen om een casestudy design workshop uit te voeren van het project A4 Delft – Schiedam (A4DS). Een casestudy is een onderzoeksmethode gebaseerd op een diepte onderzoek van een enkele case. Een design workshop heeft tot doel het vinden van oplossingen (ontwerpen) door het actief deelnemen door de participanten. Deze workshop is uitgevoerd met twee doelen:

- Toetsen van de belangrijkste generieke invloedsfactoren op de A4DS en een verklaring vinden voor mogelijke verschillen.
- Mogelijke maatregelen vinden die de belangrijkste invloedsfactoren op de RAMS prestatie van een snelwegsysteem beïnvloeden, zodat de RAMS prestatie van het systeem verbetert.

In bijlage 6A is de werkwijze van de workshop beschreven.

6.2 Case omschrijving A4DS

In de probleemcontext is al kort het project A4DS besproken. Nu volgt een uitgebreidere omschrijving van de case.

6.2.1. Ruimtelijke inpassing

De 8 km snelwegsectie dat aangelegd moet gaan worden, zal bestaan uit een gedeelte open weg, een gedeelte verdiepte ligging (open bak) en een tunnel gedeelte. Dit nieuwe stuk snelweg maakt een verbinding tussen Delft en Schiedam (en het havengebied van Rotterdam). Aan de noordkant (in Delft) sluit de snelweg aan op de A4. Tot nu toe houdt de snelweg daar op. In het zuiden (Schiedam) sluit de snelweg aan op het knooppunt Kethelplein (samenkomen A20 en A4). De A4 loopt hier verder door naar het zuiden. Met de Beneluxtunnel is dit een belangrijke verbinding naar het zuidelijk havengebied.

Het noordelijke gedeelte van de aan te leggen weg doorkruist een gebied van weilanden. Het zuidelijke gedeelte gaat tussen woonwijken door van Schiedam en Vlaardingen. De A4 heeft enkele ongelijkvloerse kruisingen (o.a. met een waterweg, trambaan en fietspad).

6.2.2. Marktbenadering

Het contract dat uitgeschreven gaat worden door RWS (de marktbenadering) is een Design & Construct contract. Veel zaken liggen door randvoorwaarden al vast, maar veel dingen moeten ook nog ontworpen worden. Het gaat hier dan vooral om de engineering en de technische ontwerpen van de gedeeltes open bak en tunnel. ARCADIS helpt RWS bij het schrijven van het Design & Construct contract. ARCADIS schrijft voor Rijkswaterstaat de vraagspecificatie 1 en 2. In vraagspecificatie 1 worden vooral eisen aan het fysieke systeem beschreven. In vraagspecificatie 2 worden proceseisen beschreven. Er worden RAMS eisen opgenomen in het contract. De eisen beperken zich veelal tot eisen aan de tunneltechnische installaties. Als de snelweg gerealiseerd is komt deze terug in handen van RWS. Deze is vervolgens verantwoordelijk voor het beheer en

onderhoud. Er is bekend dat een beperkt aantal tijdsvensters beschikbaar zijn voor het uitvoeren van onderhoud.

6.3. Bevindingen workshop

In de volgende paragrafen worden de conclusies voortkomend uit de workshop besproken. In bijlage 6B zijn de inzichten voortkomend uit de workshop uitgebreid besproken. In bijlage 6C is de tekstuele uitwerking van de gesprekken tijdens de workshop te vinden.

6.3.1. Kleine verschillen tussen A4DS en generieke snelweg

Met de uitkomsten van de workshop zijn enkele kleine verschillen tussen de A4DS en een generiek snelwegsysteem zichtbaar gemaakt. De invloed van de belangrijkste invloedsfactoren op de A4DS verschilt in sommige gevallen iets met de invloed van deze invloedsfactoren op een gemiddelde snelweg. De verschillen zijn niet groot te noemen, aangezien gemiddeld maar op één van de vier aspecten een verschil van één niveau (bijvoorbeeld hoog in plaats van middel) zichtbaar is geworden.

Verschillen tussen de mate van invloed van de top 9 invloedsfactoren op een gemiddelde snelweg en de A4DS zijn te verklaren door:

- De case A4DS is beoordeeld door 3 experts van een ingenieursbureau. De gemiddelde snelweg is beoordeeld door 10 experts van welke werkzaam zijn bij opdrachtgever, ingenieursbureau of aannemer. Het verschil in de achtergrond van de experts kan voor een andere kijk op het systeem zorgen.
- Het verschil is niet significant groot. Een klein verschil tussen de beoordeling van de mate van invloed van een factor kan voorkomen, doordat er maar een klein aantal metingen heeft plaats gevonden (aantal experts).
- Verschillen tussen de A4DS en een gemiddelde snelweg. Doordat de randvoorwaarden of de eigenschappen van het systeem verschillen kan ook de mate van invloed van een invloedfactor verschillen.

Verschillen tussen de mate van invloed van de invloedsfactoren worden aan de hand van dit laatste punt verklaard. Van de top 9 invloedsfactoren zijn er 6 factoren, waarvan de mate van invloed op één of meer aspecten van RAMS verschilt ten opzichte van een gemiddelde snelweg. De mate van invloed van de factoren “Weggebruikers”, “Complexiteit” en “Vervangbaarheid en modularisering” verschilt niet. Eerst worden deze 3 factoren besproken, vervolgens de andere 6.

Weggebruikers: Vanwege de weinig aanwezig ruimte binnen het systeem, kan een incident op de A4DS een sterk negatief effect hebben op de beschikbaarheid. Echter door de aanwezigheid van een goede alternatieve route in het netwerk (A13) is deze negatieve invloed maar beperkt.

Complexiteit: De A4DS heeft een hogere complexiteit dan een gemiddelde snelweg. Dit heeft verschillende oorzaken:

- de lastige aansluiting aan de zuidkant op het ketelplein,
- de verdiepte ligging in een bak,
- 4 betrokken gemeentes: Middendelfland, Vlaardingen, Schiedam en Delft
- 2 veiligheidsregio's: Haaglanden en Rotterdam-Rijnmond

In het project wordt de complexiteit gemanaged door extra aandacht te geven aan procesmatige risico's:

- Het toepassen van Systems Engineering: Bij complexe systemen die functioneel gericht zijn helpt dit zaken beter op elkaar af te stemmen. Onderdeel hiervan is ook kwaliteitsborging (bijv. verificatiematrix).
- Uitgebreid communicatietraject met stakeholders.
- Speciale proceseisen (Vraag Specificatie VS2)

Vervangbaarheid en modularisering: Bij de A4DS worden er beperkingen opgelegd aan deze invloedsfactor, door beperkte ruimte en eisen vanuit de omgeving. Toch is de mate van invloed gelijk vergeleken met een gemiddelde snelweg.

Zoals gezegd zijn er 6 factoren waarvan de invloed verschild vergeleken met een gemiddeld snelwegsysteem. Voor de verschillen tussen de A4DS en een generieke snelweg is geprobeerd een verklaring te geven.

Materiaalkeuze: RWS gaat de aannemer verplichten een LCC analyse te geven van het systeem over een periode 100 jaar. De verwachting is dat als gevolg hiervan een betere materiaalkeuze gemaakt zal worden.

Onderhoudsstrategie: De onderhoudsstrategie is heel belangrijk bij de A4DS. Er wordt een onderzoek gedaan naar het onderhoud van de technische installaties gedurende de eerste 8 jaar.

Geometrie: De invloed van de geometrie op de RAMS prestatie van de A4DS is hoger dan bij een generieke snelweg. Dit komt doordat de A4DS een complexe geometrie heeft. Dit komt door de verdiepte ligging, de tunnel en vooral door de aansluiting op het knooppunt Kethelplein. De moeilijkheid zit vooral in het feit dat de tunnel direct op dit knooppunt aansluit. De geometrie is in het geval van de A4DS door de vele randvoorwaarden bepaald.

Menselijke invloed ontwerpproces: Deze invloedsfactor heeft minder invloed op de A4DS dan bij een generieke snelweg. Volgens de experts komt dit doordat er door de opdrachtgever (RWS) nauwlettender naar het ontwerpproces wordt gekeken.

Onderhoudsomgeving: Voor de A4DS geldt dat er relatief weinig fysieke ruimte is voor het uitvoeren van onderhoud (werken langs de kant van de weg), omdat er behoudens de tunnel ook een gedeelte verdiepte ligging in een bak is. De onderhoudsomgeving heeft bij dit systeem een sterk negatief effect op de beschikbaarheid.

6.3.2. Mogelijke maatregelen

Tijdens de workshop zijn maatregelen geïdentificeerd om de invloedsfactoren te beïnvloeden om zo de RAMS prestatie van de snelweg te verhogen. Uit de workshop kwamen 3 maatregelen naar voren die de RAMS prestatie direct zullen verbeteren (zie Tabel 7). Deze maatregelen worden hierna verder toegelicht. Deze maatregelen gelden niet alleen voor de A4DS, maar zijn op elke snelwegsysteem zoals beschreven in de scope van dit onderzoek toepasbaar.

	voorgesteld door experts	beoordeling door experts				
invloedsfactor	maatregel	invloed	kosten	Positief effect op	Negatief effect op	invoeren door?
weggebruikers en incidenten	één snelheidsregime	hoog	laag	R + A + S	wellicht reistijd	RWS
complexiteit van het systeem	langere projectduur, minder fases parallel	hoog	laag	R + A + M + S	projectduur	RWS
complexiteit van het systeem / menselijke impact ontwerpproces	juiste mensen, juiste moment	middel	laag	R + A + M + S	-	Marktpartij

Tabel 7: Managen invloedsfactoren

Eén snelheidsregime: Dit is een manier om de invloedsfactor “Weggebruikers” te beïnvloeden. De snelheidsverschillen tussen weggebruikers bepalen in grote mate de onveiligheid. Eenzelfde (lagere) snelheid waar alle weggebruikers zich aan houden, zal de RAMS prestatie verbeteren. Deze maatregel heeft een verwacht positief effect op de betrouwbaarheid, beschikbaarheid en veiligheid. Wellicht is er een negatief effect op de reistijd. Deze maatregel zal door RWS of door de politiek ingevoerd moeten worden.

Langere projectduur, minder fases parallel: Dit is een manier om de invloedsfactor “Complexiteit van het systeem” te beïnvloeden. De experts zien dat de kortere doorlooptijd van een project de kwaliteit niet ten goede komt. Er zijn wel allerlei methodes om deze fases beter te beheersen, maar de experts geven aan dat ze het toch altijd ten koste zien gaan van de kwaliteit. Deze maatregel heeft een verwacht positief effect op alle aspecten van RAMS. RWS of de politiek zal de beslissing moeten maken om een langere projectduur in te voeren.

Juiste mensen, juiste moment: Ook dit is een manier om de invloedsfactor “Complexiteit van het systeem” en “Menselijke impact ontwerpproces” te beïnvloeden. De experts geven aan dat er bij aanvang van een project vaak fouten en verkeerde keuzes gemaakt worden. Dit komt onder andere door het inzetten van mensen met een junior- of mediorfunctie. De experts denken dat door bij de start van een project mensen met een seniorfunctie in te zetten betere keuzes gemaakt worden. Wanneer de senior mensen ingezet worden bij de start van het project, zal dit de kwaliteit van het eindproduct ten goede komen. Deze maatregel heeft een verwacht positief effect op alle aspecten van RAMS en zal ingevoerd moeten worden door de marktpartijen, bijvoorbeeld ARCADIS.

Maatregelen afwegen

De experts hebben ook maatregelen genoemd, die afgewogen moeten worden (zie Tabel 8).

	voorgesteld door experts	beoordeling door experts				
invloedsfactor	maatregel	invloed	kosten	Positief effect op	Negatief effect op	invoeren door?
materiaalkeuze	flexibel bouwen	middel	middel	R + A + M	-	Marktpartij
weggebruikers en incidenten	geen consessies richtlijnen	hoog	middel	R + A + S	-	RWS
complexiteit van het systeem	DBM contract	middel	middel	R + A + M + S	-	RWS
vervangbaarheid en modularisering	onderdelen op voorraad	middel	middel	R + A + M + S	-	Marktpartij
vervangbaarheid en modularisering	redundant uitvoeren	hoog	middel/hoog	R + A + M + S	-	Marktpartij
onderhoudsstrategie	onderhoudsprotocol	hoog	middel	A + M + S	-	Marktpartij

Tabel 8: Managen invloedsfactoren afwegen

Aan deze maatregelen zitten voordelen, maar er is teveel onduidelijkheid over de financiële consequenties. Het zijn nog geen volledige maatregelen. Er wordt niet geadviseerd om deze zonder verder onderzoek in elk project toe te passen. Voor de verdere uitleg van deze manieren om invloedfactoren te managen wordt verwezen naar bijlage 6B.

7. Conclusies en aanbevelingen

De hoofdvraag die in dit onderzoek beantwoordt is, luidt:

- Welke factoren hebben de grootste invloed op de RAMS aspecten van een snelwegsysteem?

Met dit onderzoek is inzichtelijk gemaakt welke factoren de hoogste mate van invloed hebben op de RAMS prestatie van een snelwegsysteem (weergegeven in Tabel 9). Deze invloedsfactoren zijn uitgebreid beschreven in Hoofdstuk 5. Uit de lijst met deze belangrijkste invloedsfactoren blijkt dat de RAMS prestatie van snelwegsysteem niet louter beïnvloed wordt door de fysieke eigenschappen van het systeem. Er zijn ook andere factoren die de prestaties van snelwegsysteem in grote mate beïnvloeden.

	invloed op				
invloedsfactor	R	A	M	S	invloed in fase
materiaalkeuze	hoog	hoog	middel	laag	ontwerp
weggebruikers / incidenten	hoog	hoog	laag	hoog	gebruik
complexiteit van het systeem	hoog	hoog	hoog	hoog	initiatief, ontwerp
veiligheidseisen	middel	hoog	middel	zeer hoog	ontwerp
vervangbaarheid en modularisering	laag	middel	hoog	laag	ontwerp
onderhoudsstrategie, specificaties en procedures	middel	hoog	hoog	middel	ontwerp, gebruik
menselijke impact op het ontwerpproces	middel	hoog	hoog	middel	ontwerp
geometrie van de weg	laag	laag	middel	hoog	ontwerp
onderhoudsomgeving	laag	laag	hoog	hoog	gebruik

Tabel 9: Factoren met de hoogste mate van invloed op RAMS prestatie van een snelwegsysteem

Met dit onderzoek is op een andere manier naar een snelwegsysteem gekeken. In de huidige praktijk van de snelweginfrastructuur wordt bij het toepassen van RAMS vaak alleen losstaande RAMS analyses, of in sommige gevallen RAMS prestaties, gevraagd van technische deelsystemen van een snelweg. Hierbij gaat het voornamelijk om de tunneltechnische installaties.

Echter, wanneer naar het belang van RWS wordt gekeken, is het duidelijk dat de prestaties van het gehele snelwegsysteem van belang zijn. RWS wil immers de service aan de weggebruiker verbeteren. Het belang van de prestaties van een deelsysteem zal dus ten opzichte van de prestaties van het systeem als geheel bekeken dienen te worden. Als er op de prestaties van een snelwegsysteem gestuurd wordt, dan dient niet alleen de focus te liggen op de technische installaties. Uit dit onderzoek blijkt dat in verhouding tot andere factoren die de prestaties van een snelwegsysteem beïnvloeden, de invloed van de technische installaties niet heel groot is. Het sturen op RAMS prestaties is daarom zeer waardevol om op het bredere systeem toe te passen. In dit onderzoek is de snelweg op een bredere manier, als een socio-technisch systeem in plaats van enkel het technische systeem, beschouwd. Alle factoren die invloed hebben op de prestaties van het systeem zijn geïdentificeerd. Uit dit onderzoek blijkt dat er veel (andere) factoren zijn die de prestatie van het snelwegsysteem in grote mate beïnvloeden.

Dit onderzoek draagt bij aan een verdere implementatie van de RAMS methodiek in de snelweginfrastructuur, doordat er wordt aangetoond dat een beperkte invoering van RAMS op alleen technische deelsystemen, maar weinig invloed heeft op de prestatie van het snelwegsysteem als geheel. Het is dus belangrijk voor RWS, of voor een marktpartij indien deze verantwoordelijk is voor

het Asset Management van een snelweg, om bij het toepassen van RAMS op snelwegen niet alleen te focussen op de technische installaties, maar om het systeem in zijn geheel te beschouwen.

In de bestaande literatuur ontbreekt veelal de argumentatie bij het noemen van invloedsfactoren. Tot nu toe ontbrak een volledig overzicht van welke invloedsfactoren de RAMS prestatie van een snelwegsysteem beïnvloeden. Met dit onderzoek wordt een volledig overzicht gegeven van de invloedsfactoren op de RAMS prestatie van snelwegsysteem en de mate waarin zijn het systeem beïnvloeden. Hierbij wordt ook beargumenteerd waarom invloedsfactoren een hoge mate van invloed hebben.

Aanbeveling voor ARCADIS – Bij verbeteren RAMS prestatie focussen op belangrijkste invloedsfactoren

Dit onderzoek heeft de belangrijkste invloedsfactoren op de RAMS prestaties van een generiek snelwegsysteem geïdentificeerd. Wanneer een specifiek snelwegsysteem bekeken wordt, wat vergelijkbaar is met het snelwegsysteem zoals omschreven in dit onderzoek, dan kan aangenomen worden dat de invloedsfactoren een zelfde mate van invloed hebben op de RAMS prestatie van het systeem.

De RAMS prestaties van een snelwegsysteem worden in grote mate beïnvloed door de belangrijkste factoren die met dit onderzoek zijn geïdentificeerd. Wanneer ARCADIS de verantwoordelijkheid krijgt om de RAMS prestaties van een specifiek snelwegsysteem te verbeteren, kan het beste gefocust worden op deze invloedsfactoren. Het positief beïnvloeden van deze factoren heeft immers veel invloed op de prestatie van een snelwegsysteem. Dit onderzoek geeft ook een richting aan voor het bedenken van mogelijke maatregelen. In de laatste kolom van Tabel 9 is weergegeven in welke levenscyclusfase de invloedsfactor haar invloed uitoefent op het systeem. In deze levenscyclusfase heeft het beïnvloeden van deze factor het meeste effect.

In een vroeg stadium van een project kan een eerste RAMS analyse gefocust worden op een paar punten (de invloedsfactoren met een hoge invloed). Er kan dan onderzocht worden hoe hiermee omgegaan dient te worden in een specifiek project. Hierdoor kunnen al vroeg in het project specifieke beheersmaatregelen gevonden en toegepast worden.

Aanbeveling voor ARCADIS – Invloedsfactoren bij specifiek project

De mate van invloed van een invloedsfactor kan verschillen per project. De invloedsfactoren genoemd in bovenstaande tabel zijn de factoren met de meeste invloed wanneer wordt gesproken over een gemiddeld snelwegsysteem, zoals afgebakend in dit onderzoek (socio-technisch systeem).

Door de case study met de A4DS is duidelijk geworden dat de invloed van deze factoren kan veranderen als een specifiek snelwegsysteem wordt bekeken. De verschillen tussen de mate van invloed op de A4DS en een gemiddeld snelwegsysteem waren echter maar klein. Hierdoor kan aangenomen worden dat de mate van invloed van de invloedsfactoren op een snelwegsysteem niet veel zal verschillen wanneer een specifiek snelwegsysteem (snelweg + verkeerstunnel) bekeken zal worden.

Echter wanneer de eigenschappen van een specifiek snelwegsysteem sterk verschillen van het in dit onderzoek afgebakende snelwegsysteem, mag verwacht worden dat de mate van invloed van de invloedsfactoren kan verschillen ten opzichte van de uitkomsten van dit onderzoek. Zoals andere

randvoorwaarden, een ander fysiek systeem (bijvoorbeeld een brug i.p.v. een verkeerstunnel) of een andere afbakening van het systeem (alleen technisch i.p.v. socio-technisch).

Bij een snelwegstelsel, waarvan de eigenschappen sterk verschillen van de in dit onderzoek afgebakende snelwegstelsel, dient gecontroleerd te worden of de belangrijkste invloedsfactoren genoemd in deze studie wel overeenkomen met de belangrijkste invloedsfactoren voor deze nieuwe specifieke situatie. Door de lijst met mogelijke invloedsfactoren te doorlopen met enkele experts op het gebied van het project en snelwegstelsels in het algemeen, worden de belangrijkste invloedsfactoren opnieuw gedestilleerd. De methode hiervoor kan gekopieerd worden van dit onderzoek. Voor het specifieke project wordt dan inzichtelijk welke factoren er voor zorgen dat de RAMS prestatie negatief beïnvloed wordt. Hierdoor wordt duidelijk welke factoren in dit project extra aandacht nodig hebben en waarvoor manieren ingevoerd kunnen worden om de invloed hiervan te beïnvloeden.

Door dit onderzoek als referentie te gebruiken, kan ook duidelijk beargumenteerd worden waarom de mate van invloed van een factor verschilt in een specifiek project. Hierdoor kan er geverifieerd worden of de werkwijze de juiste invloedsfactoren geïdentificeerd heeft.

Aanbeveling voor ARCADIS – RAMS en Asset Management

ARCADIS is mogelijk één van de marktpartijen die in de toekomst de verantwoordelijkheid nemen voor een snelwegstelsel en de prestaties daarvan. Op het moment dat ARCADIS verantwoordelijk wordt voor de prestatie van een (deel)stelsel en ook afgerekend wordt op de prestaties van dit (deel)stelsel is het waardevol om in het eigen proces de RAMS methodiek toe te passen. Binnen de mogelijkheden en randvoorwaarden die er zijn, wordt er dan zo efficiënt mogelijk tot een bepaalde prestatie gekomen. De RAMS methodiek dient volledig geïntegreerd te worden met de SE methodiek. Het toepassen van RAMS maakt prestaties inzichtelijk en geeft ruimte en richting aan het verrichten van optimalisaties. RAMS is een instrument dat het beheer van een snelweg efficiënter en inzichtelijker zal maken.

De Asset Manager moet zich richten op de factoren die zij kan beïnvloeden. Natuurlijk moeten alleen factoren bekeken worden die binnen de verantwoordelijkheid van de Asset Manager vallen. Voorbeeld is de invloedsfactor “veiligheidseisen”. De Asset Manager krijgt de veiligheidseisen van buitenaf opgelegd. Deze kan echter wel zelf kiezen hoe er aan deze eisen voldaan gaat worden. De Asset Manager wordt geadviseerd zich te richten op de belangrijke invloedsfactoren zoals weergegeven in Tabel 9, omdat daar de grootste winst in RAMS prestatie behaald kan worden.

Aanbeveling voor ARCADIS – RAMS aspecten geïntegreerd beschouwen

Uit het onderzoek blijkt dat het belangrijk is dat RAMS geïntegreerd aangepakt wordt. Uit de interviews met praktijkexperts van de snelweginfrastructuur wordt duidelijk dat de RAMS aspecten samen bekeken dienen te worden. Meerdere malen gaven de experts aan dat de RAMS aspecten veelal elkaar beïnvloeden en daarom niet los van elkaar beschouwd kunnen worden. Zo is het bijvoorbeeld onverstandig om veiligheid los te zien van de andere aspecten van RAMS. Een lage veiligheid of een slecht functionerend veiligheid gerelateerd systeem tast de betrouwbaarheid en beschikbaarheid van een snelweg sterk aan. Ook uit de casestudy van de A4DS bleek dat de RAMS niet gefragmenteerd is. De experts zien RAMS als een geïntegreerd geheel.

Aanbeveling voor ARCADIS – Adviseren aan RWS

In gesprekken of concrete opdrachten met RWS met betrekking tot RAMS en snelwegen kan ARCADIS adviseren om een breder systeem te beschouwen en de RAMS methodiek dus niet alleen op technische deelsystemen toe te passen. Met de uitkomsten van dit onderzoek kan er op een hoog abstractieniveau gecommuniceerd worden met RWS over de mogelijkheden van het toepassen van de RAMS methodiek op snelwegen.

Aanbeveling voor ARCADIS en RWS – Invoeren van maatregelen onderzoeken

In dit onderzoek zijn een drietal maatregelen naar voren gekomen die de RAMS prestatie van een snelwegsysteem positief zullen beïnvloeden. Deze maatregelen zijn:

- Eén snelheidsregime
- De projectduur niet inkorten
- Mensen met een seniorfunctie inzetten bij de aanvang van een project

Aanbevolen wordt om te onderzoeken hoe en in welke mate deze maatregelen ingevoerd kunnen worden, om zo de RAMS prestatie van een snelwegsysteem te verbeteren. Voor de eerste twee maatregelen ligt de verantwoordelijkheid bij RWS. Bij de laatste ligt dit bij ARCADIS.

Aanbeveling voor RWS– RAMS prestatie monitoren

Als RWS vaker en breder RAMS toe wil gaan passen op snelwegen dan zal ook de RAMS prestatie van de bestaande snelwegen in kaart gebracht moeten brengen. Dit dient voor alle relevante snelwegen gedaan te worden (snelwegen waar de RAMS prestatie van belang is). Het zou logisch zijn als RWS als beheerder van deze snelwegen hier het initiatief in neemt. Wanneer echter een marktpartij zoals ARCADIS verantwoordelijk wordt voor het beheer van een snelweg, dan wordt deze partij geadviseerd om de bestaande RAMS prestatie in kaart te moeten brengen (mits deze prestatie nog niet in kaart is gebracht). Het monitoren van RAMS prestaties is niet alleen van belang voor het beheer van bestaande wegen, maar ook zeer belangrijk als referentie voor nieuwe projecten. Elke stremming (falen van het systeem) dient genoteerd te worden. Hieronder vallen:

- Incidenten
- Onderhoudswerkzaamheden (correctief en preventief onderhoud)
- Files
- Alle andere soorten stremmingen

Hierbij dient dan genoteerd te worden wat er faalt, de reden van het falen en de duur van het falen. Ook dient eventueel letselschade aan mensen bijgehouden te worden. Op deze manier wordt de prestatie van de weg inzichtelijk en is bekend wat de oorzaak is als de weg niet beschikbaar is. De top 9 van invloedsfactoren verkregen uit dit onderzoek geeft hieraan een goede richting. Dit zijn immers de factoren die voor een groot gedeelte van de stremmingen zorgen. Met deze gegevens wordt de prestatie van de snelweg op alle aspecten van RAMS inzichtelijk gemaakt.

Aanbeveling voor verder onderzoek – Mogelijke maatregelen

In dit onderzoek zijn, doormiddel van het uitvoeren van een workshop, maatregelen gevonden die de RAMS prestatie kunnen verbeteren. Verder onderzoek naar deze maatregelen is noodzakelijk om het effect hiervan nauwkeuriger in kaart te brengen. Daarnaast dient er verder onderzoek gedaan te

worden naar andere manieren om de belangrijkste invloedsfactoren te managen. De verwachting is dat er nog meer maatregelen bedacht kunnen worden die de RAMS prestaties verbeteren.

Belangrijke invloedsfactoren geïdentificeerd in dit rapport zijn een goed uitgangspunt voor dit verdere onderzoek. Ook de inzichten in welke levenscyclusfases de invloedsfactoren haar invloed uitoefenen op het systeem zijn hierbij erg behulpzaam. Door een invloedsfactor in de juiste levenscyclusfase te beïnvloeden, kan de RAMS prestatie verbeterd worden.

Aanbeveling voor verder onderzoek – Invloedsfactoren managen

Niet alleen directe concrete maatregelen kunnen de RAMS prestatie verbeteren. Ook het gericht managen van de belangrijkste invloedsfactoren kan de RAMS prestatie verbeteren. Er dient verder onderzoek gedaan te worden naar hoe de belangrijkste invloedsfactoren strategisch gemanaged kunnen worden in alle levenscyclusfases. Er zal hiervoor in detail naar een invloedsfactor gekeken moeten worden. Nu duidelijk is welke factoren veel invloed hebben op de prestaties van een snelweg, kan gedurende het hele project gekeken worden hoe de factoren beïnvloed kunnen worden.

8. Literatuurlijst

ARCADIS. (2009). Opgeroepen op December 2, 2009, van <http://www.arcadis.nl>

ARCADIS en Rijkswaterstaat. (2008). *Rijkswaterstaat als assetmanager*.

ARCADIS. (2009). *RA(MS) analyse KOSMOS tunnelspecifiek*.

Barabady, J. (2005). *Improvement of system availability using reliability and maintainability analysis*. Lulea: Lulea University of Technology.

Blanchard, B., Verda, D., & Peterson, E. (1995). *Maintainability: a key to effective serviceability and maintenance management*. New York: John Wiley and Sons.

Borgonovo, E., Marseguerra, M., & Zio, E. (2000). A Monte Carlo methodological approach to plant availability modeling with maintenance, aging and obsolescence. *Reliability engineering & system safety*, 61-73.

Brall, A., & Gardner, L. (2001). Institutionalizing reliability and maintainability in the industrial/commercial organization. *Reliability and maintainability symposium*. IEEE.

CENELEC. (1999). *Railway applications - The specifications and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)*. Brussels: CENELEC.

Dekker, R., & van Noortwijk, J. (2001). Beslissingsondersteuning voor civiel onderhoud. *Bedrijfskunde*, 6-17.

Eti, M., Ogaji, S., & Probert, S. (2007). Integrating reliability, availability, maintainability and supportability with risk analysis for improved operation of the Afam thermal power-station. *Applied Energy*, 202-221.

Grunske, L. (2007). Early quality prediction of component-based systems - A generic framework. *The Journal of Systems and Software*, 678-686.

Guthrie, V., Farquharson, J., Bonnet, R., & Bjoro, E. (1990). Guidelines for integrating RAM consideration into an engineering project. *IEEE Transactions on Reliability*, 133-139.

Kawauchi, Y., & Rausand, M. (1999). *Life Cycle Cost analysis in oil and chemical process industries*.

Kumar, R. (1999). *Research Methodology. A step-by-step guide for beginners*. London: Sage Publications.

Markeset, T., & Kumar, U. (2001). Integration of RAMS information in design processes. Tampa, FL.

Markeset, T., & Kumar, U. (2003). Design and development of product support and maintenance concepts for industrial systems. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 376-392.

Marseguerra, M., Zio, E., & Martorell, S. (2006). Basic of genetic algorithms optimization for RAMS applications. *Reliability engineering & system safety*, 977-991.

Okogbaa, O., & Peng, X. (1996). A methodology for preventive maintenance analysis under transient response. *Reliability and maintainability symposium*. IEEE.

Pallandt, J. (2009). *RAMS beleid voorstel. Project A4 Delft - Schiedam*.

Rijkswaterstaat (2). (2009). *Trajectnota / Mer Stap 2 A4 Delft-Schiedam Deelrapport Verkeersveiligheid*. Rotterdam: Rijkswaterstaat.

Rijkswaterstaat. (2009). *Leidraad RAMS*. Rijkswaterstaat.

Rijkswaterstaat. (2008, oktober 1). *Over ons*. Opgeroepen op februari 9, 2010, van Rijkswaterstaat: www.rws.nl/over_ons/

Skulmoski, G., & Hartman, F. (2007). The Delphi Method for Graduate Research. *Journal of Information Technology Education*.

Tsai, Y. (2005). The preliminary investigation of system reliability and maintainability to develop availability sound designs. *Journal of Engineering Design*, 459-471.

Van Aken, J. E., Berends, H., & Van der Bij, H. (2007). *Problem solving in organizations*. Cambridge: University Press.

van Bussel, G., & Zaaier, M. (2001). Reliability, availability and maintenance aspects of large-scale offshore wind farms a concepts study. *Proceedings of MAREC*.

van Noortwijk, J. (1998). *Onderhoudsoptimalisatie*. Lelystad/Delft: HKV Lijn in Water.

Verschuren, P., & Doorewaard, H. (2005). *Het ontwerpen van een onderzoek*. Utrecht: Lemma BV.

Zoeteman, A. (2001). Life cycle cost analysis for managing rail infrastructure. *EJTIR*, 391-413.

Zoeteman, A., & Braaksma, E. (2001). An approach to improving the performance of rail systems in a design phase. *World conference on railway research*, 1-9.

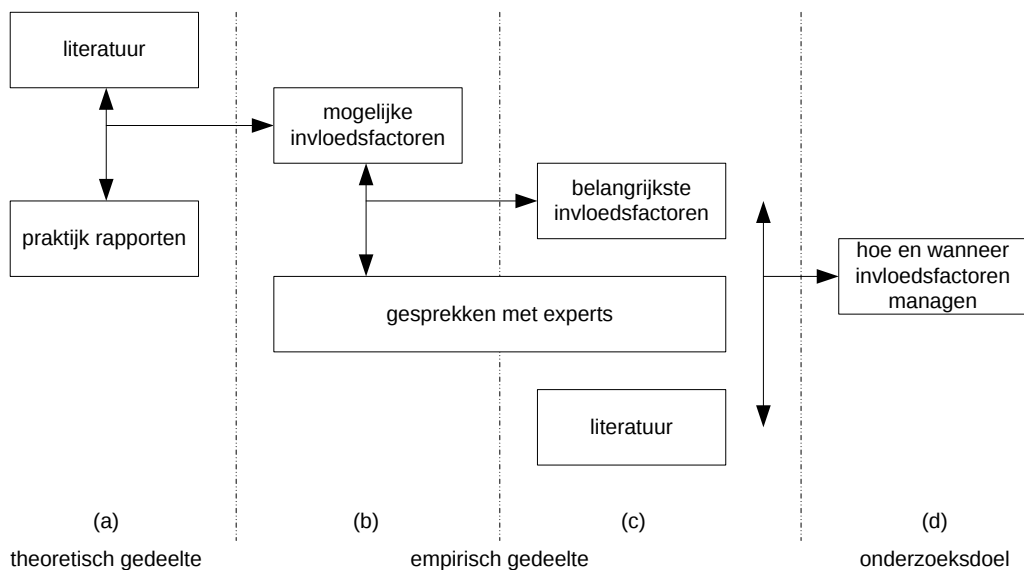
Inhoudsopgave – Bijlagen

Bijlage 2A.....	60
Bijlage 3A.....	61
Bijlage 4A.....	63
Bijlage 4B.....	67
Bijlage 4C.....	72
Bijlage 4D.....	76
Bijlage 5A.....	78
Bijlage 5B.....	83
Bijlage 5C deel 1	86
Bijlage 5C deel 2	88
Bijlage 5D.....	90
Bijlage 5E.....	93
Bijlage 5F.....	112
Bijlage 6A.....	115
Bijlage 6B.....	118
Bijlage 6C.....	129

Bijlage 2A

Conceptueel onderzoeksmodel

Het conceptueel onderzoeksmodel wordt gebruikt om vanuit de probleemstelling tot een vraagstelling te komen. Het is van belang om eerst een globaal overzicht te krijgen over de verschillende stappen die gezet moeten worden om het probleem (gedeeltelijk) op te lossen. Een conceptueel onderzoeksmodel is een schematische weergave van het doel van het onderzoek en de globale stappen die gezet moeten worden om dit doel te bereiken. Voor het ontwerp van het conceptueel onderzoeksmodel wordt de werkwijze van **Invalid source specified.** aangehouden. De visualisatie van dit model is te zien in Figuur 15.



Figuur 15: Conceptueel onderzoeksmodel

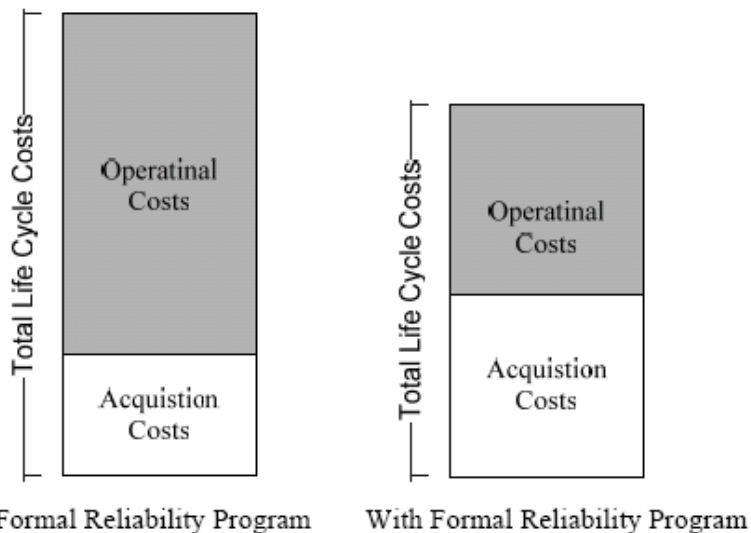
Het onderzoeksmodel is als volgt verwoord:

(a) Een bestudering van de literatuur over RAMS en rapporten uit de praktijk van de snelweg infrastructuur, levert mogelijke invloedsfactoren op de RAMS aspecten. (b) Door gesprekken met experts zullen de belangrijkste invloedsfactoren geselecteerd worden. (c) Uit dit verkregen inzicht, verdere vragen aan experts en bestudering van de literatuur over verbeteren het RAMS prestaties, (d) zal geconcludeerd worden hoe en wanneer de invloedsfactoren gemanaged/beïnvloed kunnen worden.

Bijlage 3A

Acquisitie kosten en Life Cycle Costs

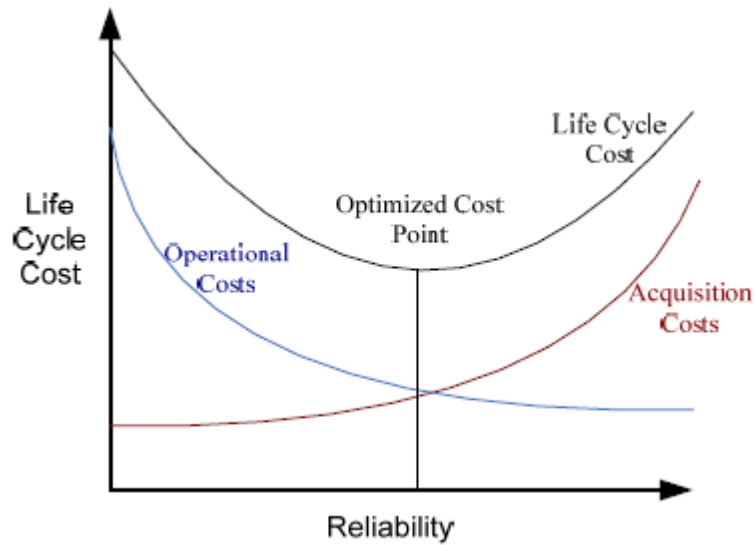
Verbetering van de betrouwbaarheid en beschikbaarheid van een systeem, vroeg in de levenscyclus van het systeem (tijdens de ontwerpfase), kan resulteren in hogere ontwikkelingskosten, wat resulteert in hogere aanschafkosten voor de klant. Dit kan echter meer dan gecompenseerd worden door het verkrijgen van lagere operationele kosten met een verhoogde betrouwbaarheid en beschikbaarheid (Blischke and Murthy, 2003, geciteerd door **Invalid source specified**.. Dit is gevisualiseerd in Figuur 16.



Figuur 16: Het effect van een *reliability program* op de LCC (Dhudsia, 1992, geciteerd door **Invalid source specified**..

In de verhouding tussen de acquisitiekosten en de operationele kosten bestaat vanuit het oogpunt van LCC een optimaal punt. De som van acquisitiekosten en de operationele kosten is hier het laagst. Na dit optimale punt zal elke investering in verbetering van de betrouwbaarheid leiden tot hogere totale LCC. Dit is gevisualiseerd in Figuur 17.

Bij de ontwerpbeslissing of de specificatie van een object dient het totale onderhoud over de verwachte levensduur alsmede de ontmantelingskosten aan het einde daarvan meegenomen te worden **Invalid source specified**.. De analyse hiervan wordt LCC analyse genoemd. Veelal wordt gezegd dat 80% of meer van het onderhoud wordt vastgelegd door de keuze voor een bepaald systeem. Voor civiele objecten ziet men dit heel duidelijk terug in de keuze van materialen en de manier waarop constructies worden uitgevoerd.



Figuur 17: Optimaliseren van de LCC (Dhudsia, 1992, geciteerd door Invalid source specified..

Het optimaliseren van het ontwerp en onderhoud moet volgens Marseguerra, Zio, & Martorell (2006) gezien worden als een *meervoudig criteria beslissingsprobleem* (MCDM). Hierin vormen de RAM en kosten eigenschappen conflicterende beslissingscriteria. Zowel van Noortwijk (1998) als Moss (1985), geciteerd door Eti, Ogaji, & Probert (2007) ontwikkelde een onderhoudsmodel dat in de ontwerpfase gebruikt kan worden om een optimale balans te vinden tussen de initiële investeringskosten enerzijds en de toekomstige onderhoudskosten anderzijds.

Bijlage 4A

Invloedsfactoren uit de literatuur

In deze bijlage worden de factoren besproken die invloed hebben op de RAMS prestatie van een systeem afkomstig uit de literatuur.

Invloed op betrouwbaarheid

Een hoge betrouwbaarheid wordt bereikt door ontwerpspanningen, materiaalkeuze, bouw/productie, kwaliteit beheersmaatregelen, voldoende onderhoud, welke allen bijdragen aan de productiekosten, aanschafprijs en COO (Costs of Ownership). (Blischke en Murthy, 2003, geciteerd door Barabady (2005))

De prestaties van materiaal (machines) hangt af van de R en A van het materiaal, de omgeving waarin het moet functioneren, onderhoudsefficiëntie, bedieningsproces en de technische expertise van de operator. (Barabady, 2005)

Volgens Barabady (2005) zijn er veel factoren die de R en A beïnvloeden. Engineering ontwerp, materialen, productie/bouw, bediening en onderhoud. Om invloed te hebben op deze factoren hebben we nodig: informatie, modelleren, analyseren, testen, data etc. Ook het onderhoud heeft veel invloed op de betrouwbaarheid.

Uitvallen gebeuren meestal door slechte ontwerpen. Menselijke fouten, eisen voortkomend uit regels/statuten, onbetrouwbaarheid en de gevraagde kwaliteit van het eindproduct beïnvloeden de onderhoudsprocedure die toegepast zou moeten worden. Ook de training van personeel beïnvloedt de onderhoudbaarheid. (Eti et al., 2007)

De oorsprong van problemen in een fabriek zijn terug te voeren op het onderhoudsproces, incompetent menselijke activiteiten, onvoldoende kwaliteit van procedures, slechte routines of niet de juiste checklists in gebruik hebben. (Eti et al., 2007)

Redenen waarom een product faalt kunnen zijn: fysieke fouten (bijv. overbelasting, vermoeidheid, corrosie, elektronische hazards), ontwerp fouten, fouten bij bouwwerkzaamheden etc. (Markeset en Kumar, 2003)

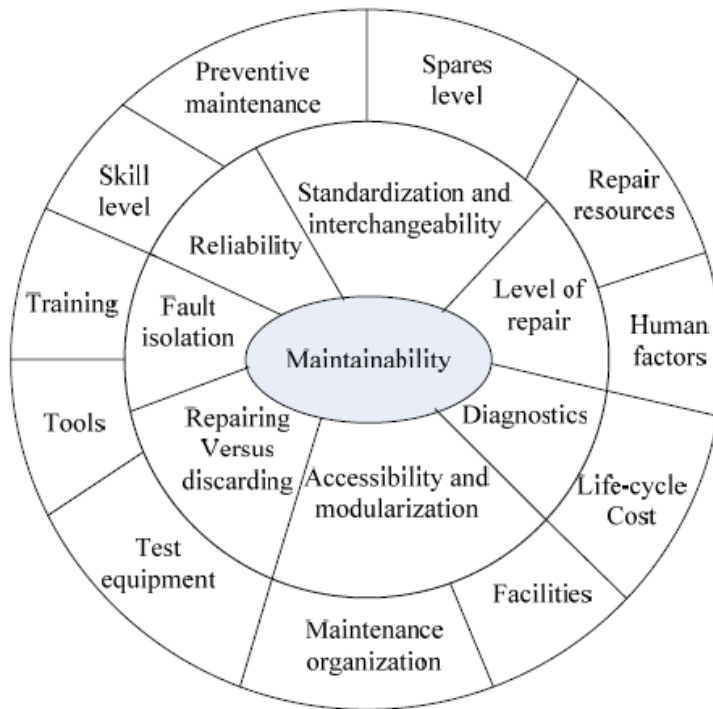
Modularisering in het ontwerp kan de onderhoudbaarheid sterk verbeteren volgens Van Bussel en Zaaijer (2001). Daarnaast wordt de beschikbaarheid beïnvloed door: bereikbaarheid van het systeem, onderhoudsstrategie, betrouwbaarheid, onderhoudbaarheid en duurzaamheid.

Uit onderzoek van ARCADIS (2009) blijkt dat de prestaties van de technische componenten invloed hebben op de R en A van een snelwegtunnel. Ook komt hierin naar voren dat de prestatie van een snelwegtunnel afhankelijk is van de installaties die de leverancier kan leveren (met bijbehorende RAMS prestatie).

Zoeteman somt een lijst factoren op die de R en A beïnvloeden: kwaliteit van materialen en componenten, onderhoudbaarheid van materialen en componenten, planning van vernieuwingen, geïnstalleerde monitoringsapparatuur, aantal onderhoudsdepots en onderhoudsteams, beschikbaarheid reserve onderdelen, toegankelijkheid van het terrein.

Invloed op onderhoud en onderhoudbaarheid

Eberling (1997, geciteerd door Barabady (2005)) beschrijft met welke factoren er rekening gehouden moet worden met het onderwerpen van de onderhoudbaarheid van een systeem (zie Figuur 18).



Figuur 18: Ontwerpfactoren onderhoudbaarheid (Ebeling, 1997)

De belangrijkste factoren die naast het onderhoudsproces zelf het onderhoud beïnvloeden zijn volgens Cambell en Jardine (2001, geciteerd door Barabady (2005)): werknemers, machines, materialen, services van derden, technische overhead, management overhead, faciliteiten en training.

Visser (1998, geciteerd door Tsang (2002)) geeft aan dat factoren het onderhoud beïnvloeden en dus de onderhoudbaarheid van een bedrijfssysteem. Deze zijn: werknemers, materialen, reserve onderdelen, gereedschap, informatie, geld, externe services.

Invloed op RAM

Volgens Ebeling (1997, geciteerd door Rajpal et al., 2005) zijn factoren die de RAM van een repareerbaar systeem onder andere: machines (verder uitgesplitst), bedrijfsomstandigheden (*aantal mensen bedieningspersoneel, werkgewoontes, interpersoonlijke relaties, afwezigheid, omgeving omstandigheden, zwaarheid van de taak etc.*), onderhouds omstandigheden (verder uitgesplitst), infrastructurele faciliteiten (reserveonderdelen, verbruiksgoederen, normale en speciale gereedschappen).

Zoeteman (2001) bespreekt in zijn artikel de LCC voor het managen van spoor infrastructuur. Om een bepaalde RAMS prestatie te garanderen moet de invloed van een stijging van verkeersintensiteiten en/of een stijging van belasting van voertuigen onderzocht worden.

Zoeteman (2001) presenteert een model met factoren die de LCC en de R en A van de spoor infrastructuur beïnvloeden. Deze zijn: Ontwerp, onderhoudstrategie, verkeersintensiteiten, fysieke omgeving van het systeem, ontwerp en onderhoud specificaties, onderhoud omstandigheden, bouw omstandigheden en financiële voorwaarden

Zoeteman noemt enkele verschillen tussen spoorlijnen die de prestatie ervan beïnvloeden: het ontwerp (tracé, signalering, energievoorzieningssystemen), het benodigde onderhoudsfrequentie, de impact van stremmingen. De prestatie hangt dus van veel locale factoren af.

CENELEC

De Europese standaard voor RAMS in de spoorinfrastructuur de CENELEC, beschrijft een groot aantal factoren die invloed hebben op de RAMS van het spoor. De lijst geeft nog niet een compleet overzicht. De factoren zijn een input voor de specificatie van de RAMS eisen van een systeem. De mate van invloed van de factoren wordt niet aangegeven. Dit dient volgens CENELEC per levenscyclusfase bekeken te worden op een niveau wat aansluit op het systeem wat onder beschouwing ligt.

RAMS:

De taken die het systeem moet uitvoeren en de omstandigheden waarin de taken uitgevoerd moeten worden

Het naast elkaar bestaan van passagiers (gebruikers), vracht, personeel en systemen binnen de operationele ruimte

Levenseisen van het systeem, met inbegrip van verwachte levensduur, gebruiksintensiteit en LCC eisen

Fysieke omgeving

De hoge mate van integratie van het systeem in de omgeving

De beperkte mogelijkheid voor het testen van complete systemen in de spoor (systeem) omgeving

De noodzaak om spoor verkeer (treindiensten) te behouden tijdens verschillende taken die uitgevoerd moeten worden tijdens de levenscyclus

Langs het spoor (weg) bouwwerkzaamheden

Langs het spoor (weg) onderhoudsvoorwaarden

De integratie van bestaande systemen en nieuwe systemen tijdens de inbedrijfstelling en gebruik.

Menselijke factoren (zeer uitgebreid uitgesplitst)

R:

Alle mogelijke faalmechanismen (incl. kans van voorkomen)

Effect van falen op het functioneren van het systeem

A:

Mogelijke bediening/exploitatie tijdens de gehele lifecycle

Menselijke factoren

M:

Benodigde tijd voor uitvoeren gepland onderhoud

Benodigde tijd voor detectie, identificatie en lokalisatie van de fouten

Benodigde tijd voor reparatie van het gefaalde systeem (correctief onderhoud)

S:

Alle mogelijke hazards in het systeem, onder alle bedienings/exploitatie-, onderhouds- en omgevingsomstandigheden

Karakteristieken van elke hazard in termen van ernst en gevolg

Alle faalmechanismen die tot een hazard kunnen leiden (incl. kans)

Volgorde of samenkomst (incl. kans) van gebeurtenissen, falen, gebruiksstatus, omgeving condities etc. die tot een ongeluk kunnen leiden

Het uitvoeren van onderhoud op delen van het systeem die geassocieerd kunnen worden met een hazard of een veiligheid gerelateerd faalmodus

De kans op fouten bij onderhoud activiteiten van veiligheid gerelateerde delen van het systeem

Benodigde tijd om het systeem te herstellen in een veilige staat

Menselijke factoren die invloed hebben op het effectief onderhouden van alle veiligheid gerelateerde onderdelen van het systeem en de veilige werking van het systeem

Gereedschappen, faciliteiten en procedures voor het effectief onderhouden van alle veiligheid gerelateerde onderdelen van het systeem en de veilige werking van het systeem

Effectieve controle en maatregelen voor het omgaan met hazard en indammen van de consequenties

Bijlage 4B

In deze bijlage worden de invloedsfactoren uit de literatuur per RAMS aspect en vervolgens per literatuurbron opgesomd.

Lijst met mogelijke invloedsfactoren op RAMS (algemeen):

ZOETEMAN (2001) TOEPASSING HOGESNELHEIDSLIJN:

Ontwerp
Onderhoudstrategie
Verkeersintensiteiten
Fysieke omgeving van het systeem
Ontwerp en onderhoud specificaties
Onderhoud omstandigheden
Bouw omstandigheden
Financiële voorwaarden

MARSEGUERRA, ZIO, & MARTORELL (2006) TOEPASSING ALGEMEEN:

Ontwerp- en onderhoudskeuzes

PRORAIL (2008) TOEPASSING SPOOR:

Complexiteit van een systeem

ARCADIS (2009) TOEPASSING SNELWEGTUNNELS:

Prestaties technische componenten / installaties leverancier afhankelijk

EBLING (1997, GECITEERD DOOR RAJPAL, SHISHODIA, & SEKHON (2006) TOEPASSING ALGEMEEN:

Machines (type, aantal, leeftijd, plaats t.o.v. elkaar, plaats van componenten in de machine, defecten van componenten)

Bedrijfs/bedieningsomstandigheden (vaardigheden van bedieningspersoneel, aantal bedieningspersoneel, werkgewoontes, inter-personeel relaties, afwezigheid, veiligheidsmaatregelen, omgevingsomstandigheden, ernst van de toegewezen taken)

Onderhoudsomstandigheden (bekwaamheid en sterkte van onderhoud personeel, aanwezigheid, werkgewoonten, veiligheidsmaatregelen, inter-personeel relaties, defecten komend door eerdere onderhoudswerkzaamheden, effectiviteit van onderhoudsplanning en -control)

Infrastructuurle faciliteiten (reserve onderdelen, verbruiksgoederen, gemeenschappelijke en speciaal gereedschap)

RAJPAL, SHISHODIA, & SEKHON (2006) TOEPASSING HELIKOPTER TRANSPORT FACILITEIT:

Dagelijks onderhoud
Periodiek onderhoud
Onderhoudspersoneel
Bedieningspersoneel
Ernst van de toegewezen taken

GUTHRIE, FARQUHARSON, BONNET, & BJORO (1990) TOEPASSING ALGEMEEN:

Wet- en regelgeving

CENELEC (1999) TOEPASSING SPOOR:

De taken die het systeem moet uitvoeren en de omstandigheden waarin de taken uitgevoerd moeten worden

Het naast elkaar bestaan van passagiers (gebruikers), vracht, personeel en systemen binnen de operationele ruimte

Levenseseisen van het systeem, met inbegrip van verwachte levensduur, gebruiksintensiteit en LCC eisen

Fysieke omgeving

De hoge mate van integratie van het systeem in de omgeving

De beperkte mogelijkheid voor het testen van complete systemen in de spoor (systeem) omgeving

De noodzaak om spoor verkeer (treindiensten) te behouden tijdens verschillende taken die uitgevoerd moeten worden tijdens de levenscyclus

Langs het spoor (weg) bouwwerkzaamheden

Langs het spoor (weg) onderhoudsvoorwaarden

De integratie van bestaande systemen en nieuwe systemen tijdens de inbedrijfstelling en gebruik.

Menselijke factoren (zeer uitgebreid uitgesplitst)

RIJKSWATERSTAAT EN ARCADIS (2008) TOEPASSING WEGEN:

Falen object

Verkeersincidenten

Onderhoud

Buitengewone weersomstandigheden

Gladheid

Afvoercapaciteit onderliggend wegennet

Overbelasting

Mogelijke oorzaken van falen:

ETI, OGAI, & PROBERT (2007) TOEPASSING WARMTEKRACHTCENTRALE:

Ontoereikend onderhoud

Onvermogen om problemen te voorspellen

Ongeschikte ontwerpen

MARKETSET & KUMAR (2003) TOEPASSING PRODUCTEN/ INDUSTRIËLE SYSTEMEN:

Ontwerp

Leveringsproces

Operationele omgeving

Overbelasting

Vermoeidheid

Corrosie

Elektrische storingen

Bediening

Menselijk falen “het falen van een geplande activiteit die tot doel had een gewenst resultaat te verkrijgen – zonder de tussenkomst van een onvoorzienbare gebeurtenis”

Betrouwbaarheid (R):

BLISCHKE EN MURTHY (2003, GECITEERD DOOR (BARABADY, 2005)) TOEPASSING CRUSHING PLANT BAUXIET MIJN:

Ontwerpinspanningen

Materiaalkeuze

Productie

Kwaliteit waarborging

Goed onderhoud

TSAI (2005) TOEPASSING ALGEMEEN:

Omgevingsvariatie

CENELEC (1999) TOEPASSING SPOOR:

Alle mogelijke faalmechanismen (incl. kans van voorkomen)

Effect van falen op het functioneren van het systeem

Beschikbaarheid (A):

VAN BUSSEL & ZAAIJER (2001) TOEPASSING WINDMOLEN PARKEN:

Bereikbaarheid van het systeem

Onderhoudsstrategie

Betrouwbaarheid

Onderhoudbaarheid

Duurzaamheid

CENELEC (1999) TOEPASSING SPOOR:

Mogelijke bediening/exploitatie tijdens de gehele lifecycle

Menselijke factoren

BARABADY (2005) TOEPASSING CRUSHING PLANT BAUXIET MIJN:

Onbeschikbaarheid door test en onderhoud

Onderhoud (M):

ETI, OGAJI, & PROBERT (2007) TOEPASSING WARMTEKRACHTCENTRALE:

Menselijke fouten

Wettelijke eisen

Onbetrouwbaarheid

Vereiste kwaliteit van het eindproduct

Training van personeel

ZOETEMAN (2001) TOEPASSING HOGESNELHEIDSLIJN:

Stijging van verkeersintensiteiten

Stijging van belasting van voertuigen

BARABADY (2005) TOEPASSING CRUSHING PLANT BAUXIET MIJN:

Logistieke vertraag tijd (tijd nodig om te beginnen met onderhoud)

Administratieve vertraag tijd (tijd nodig om van moment van falen tot actie over te gaan)

EBELING (1997, GECITEERD DOOR BARABADY (2005) TOEPASSING CRUSHING PLANT BAUXIET MIJN:

Menselijke factoren

LCC

Voorzieningen

Onderhoudsorganisatie

Test materiaal

Gereedschap

Training

Mate van deskundigheid

Preventief onderhoud

Reserve onderdelen

Reparatie middelen

MARKETSET & KUMAR (2003) TOEPASSING WARMTEKRACHTCENTRALE:

Bereikbaarheid

Vervangbaarheid

Modularisering

Omgeving (temperatuur, vochtigheid, stof, onderhoudsfaciliteiten, onderhoudspersoneel training)

TSANG A. (2002) TOEPASSING ALGEMEEN:

Personeel

Materialen

Reserve onderdelen

Gereedschap

Informatie / informatie stroom

Geld

Externe services

Bereikbaarheid

Menselijke factoren

CENELEC (1999) TOEPASSING SPOOR:

Benodigde tijd voor uitvoeren gepland onderhoud

Benodigde tijd voor detectie, identificatie en lokalisatie van de fouten

Benodigde tijd voor reparatie van het gefaalde systeem (correctief onderhoud)

Veiligheid (S):CENELEC (1999) TOEPASSING SPOOR:

Alle mogelijke hazards in het systeem, onder alle bedienings/exploitatie-, onderhouds- en omgevingsomstandigheden

Karakteristieken van elke hazard in termen van ernst en gevolg

Alle faalmechanismen die tot een hazard kunnen leiden (incl. kans)

Volgorde of samenkomst (incl. kans) van gebeurtenissen, falen, gebruiksstatus, omgeving condities etc. die tot een ongeluk kunnen leiden

Het uitvoeren van onderhoud op delen van het systeem die geassocieerd kunnen worden met een hazard of een veiligheid gerelateerd faalmodus

De kans op fouten bij onderhoud activiteiten van veiligheid gerelateerde delen van het systeem

Benodigde tijd om het systeem te herstellen in een veilige staat

Menselijke factoren die invloed hebben op het effectief onderhouden van alle veiligheid gerelateerde onderdelen van het systeem en de veilige werking van het systeem

Gereedschappen, faciliteiten en procedures voor het effectief onderhouden van alle veiligheid gerelateerde onderdelen van het systeem en de veilige werking van het systeem

Effectieve controle en maatregelen voor het omgaan met hazard en indammen van de consequenties

Bijlage 4C

In deze bijlage wordt beschreven hoe het extraheren en groeperen van invloedsfactoren uit literatuur is gedaan.

Inleiding

In wetenschappelijke literatuur en documentatie uit de praktijk (handboek, leidraad, Trajectnota, MER, RA(MS) analyse, etc.) is gezocht naar factoren die hierin genoemd worden welke invloed hebben op de RAMS van een systeem. Alle invloedsfactoren die genoemd worden in deze bronnen zijn genoteerd. Vervolgens zijn deze factoren binnen een framework geplaatst. Voor verbetering van het overzicht en de werkbaarheid zijn de factoren vervolgens gegroepeerd en gebundeld. De werkwijze van groeperen en bundelen is uitgebreid beschreven en terug te vinden in deze bijlage. De resultaten daarvan worden besproken in bijlage 4D.

Definitie invloedsfactor

Een invloedsfactor is “Een factor die de RAMS prestatie van een systeem (negatief) kan beïnvloeden.” We beschouwen hier de RAMS prestatie van het systeem tijdens de gebruiksfase.

Invloedsfactoren literatuur

Op een systematische wijze is de literatuur over RAMS doorgenomen. In de relevante artikelen is gezocht naar factoren die invloed hebben op de RAMS van een systeem. In de literatuur zijn veel invloedsfactoren te vinden die specifiek gelden voor een bepaald soort systeem (bijv. een windmolen of een warmtekrachtcentrale). Andere bronnen sommen meer algemene en generieke invloedsfactoren op. Al deze invloedsfactoren zijn genoteerd en gerangschikt. De rangschikking is eerst per RAMS aspect en vervolgens per literatuurbron. Deze lijst geeft een duidelijk overzicht van de herkomst van de invloedsfactoren. Dit literatuuroverzicht is belangrijk in het kader van de reproduceerbaarheid van het onderzoek. De invloedsfactoren in de lijst zijn nog niet bewerkt of beoordeeld. Deze lijst is terug te vinden in de bijlage 4B van dit rapport.

Invloedsfactoren toegevoerd naar brainstorm experts

Door de limitaties van dit onderzoek kunnen de experts in dit onderzoek kunnen maar één keer geïnterviewd worden. Om de experts een zo volledig mogelijke lijst met invloedsfactoren voor te leggen, om zoveel mogelijk informatie uit dit interview te verkrijgen, wordt getracht een zo volledig mogelijk overzicht te geven van de mogelijke invloedsfactoren op de RAMS prestatie van een snelwegstelsel. Doormiddel van een brainstorm met een expert is gekeken of er nog invloedsfactoren aan de lijst toegevoegd konden te worden. De volgende invloedsfactoren zijn na de brainstorm aan de lijst met invloedsfactoren toegevoegd.

- Software
- Productleveranciers
- Scopewijzigingen in project

Eerste overzicht factoren

De lijst met invloedsfactoren uit de literatuur is zeer uitgebreid en nog weinig overzichtelijk. Allereerst is daarom de lijst opgeschoond door dubbele verwijzingen naar factoren te verwijderen,

zodat er alleen nog unieke factoren in terug te vinden zijn. Vervolgens zijn de factoren in een tabel geplaatst. De werkwijze hierbij is:

- Factoren die veel met elkaar te maken hebben, bij elkaar plaatsen.
- Factoren die een onderdeel of een opsplitsing van een andere factor zijn, rechts hiervan plaatsen.

Om een juiste en logische indeling van de factoren te krijgen is in de literatuur gezocht naar een bijpassend framework.

Onderscheid tussen factoren in literatuur

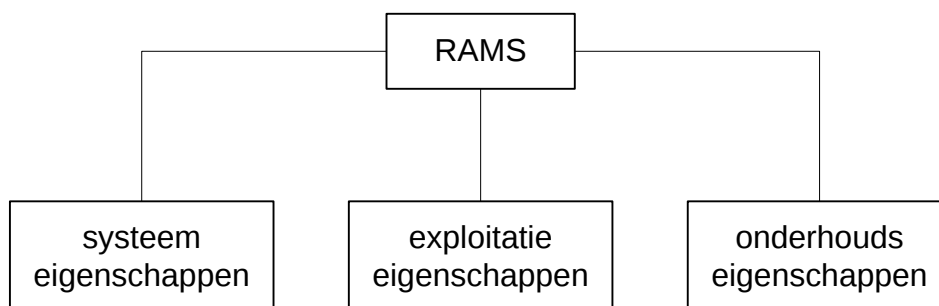
In verschillende bronnen wordt gesproken over factoren die de prestatie van een systeem beïnvloeden. Weinig bronnen maken echter een onderscheid tussen verschillende soorten invloedsfactoren. Alleen CENELEC (1999) en Zoeteman (2001) proberen dit onderscheid te maken en daarom zullen beide methodes hier besproken worden.

Beide bronnen beschouwen de RAMS van een spoorstelsel. Een snelwegstelsel vertoont veel overeenkomsten met een spoorstelsel. Vergeleken met een spoorstelsel gelden voor een snelwegstelsel veelal dezelfde eigenschappen. Het zijn beide infrastructuren voor transport. Hier moet bij aangevuld worden dat het snelwegstelsel niet alleen geëxploiteerd en bediend wordt, maar er ook daadwerkelijk gebruik van gemaakt wordt door auto's en vrachtwagens die door individuele mensen worden bestuurd.

Volgens CENELEC (1999) wordt de RAMS van een spoorstelsel beïnvloed op 3 manieren (zie Figuur 19):

- Systeemeigenschappen: bronnen van falen die binnen het systeem (intern) geïntroduceerd worden, mogelijk in elke fase van de systeemlevenscyclus.
- Exploitatie eigenschappen: bronnen van falen voortkomend uit de exploitatie en bediening van het systeem.
- Onderhoudseigenschappen: bronnen van falen voortkomend uit het systeem tijdens onderhoud activiteiten.

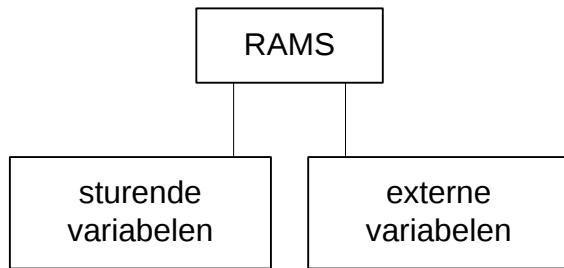
Deze bronnen van falen kunnen elkaar beïnvloeden.



Figuur 19: Onderscheid invloedsfactoren RAMS (CENELEC, 1999)

Zoeteman (2001) geeft een overzicht van factoren die de prestatie van spoorinfrastructuur beïnvloeden. Er wordt hier onderscheid gemaakt tussen sturende variabelen en externe variabelen (zie Figuur 20). Sturende variabelen zijn die variabelen die direct beïnvloed kunnen worden tijdens

het ontwerp en het bepalen van de onderhoudsstrategie. Externe variabelen zijn variabelen die niet direct beïnvloed kunnen worden, bijvoorbeeld financiële condities, ontwerp- en onderhoudspecificaties en het gebruik van het systeem.



Figuur 20: Onderscheid variabelen die RAMS beïnvloeden (Zoeteman, 2001)

Keuze framework

Na een analyse van de invloedsfactoren uit de literatuur blijkt dat de methode van CENELEC (1999) goed aansluit op de lijst met invloedsfactoren uit de literatuur. Bij het plaatsen van de invloedsfactoren in een tabel kwam vanzelfsprekend de opsplitsing tussen systeem, exploitatie en onderhoud naar voren. Het toepassen van het model van CENELEC (1999) is daarom een vrij logische keuze.

De opdeling van Zoeteman (2001) zou hierbij als onderdeel van het model van CENELEC (1999) worden gezien. De eigenschappen van het fysieke systeem zijn logischerwijs op te delen in variabelen die veranderd kunnen worden (sturende variabelen) en randvoorwaarden (externe variabelen). Soms is hier echter moeilijk onderscheid tussen te maken. Bijvoorbeeld de invloedsfactor “budget” kan gezien worden als een harde randvoorwaarde, maar ook als een variabele waarop gestuurd kan worden. De opdeling tussen sturende en externe variabelen is niet altijd algemeen toepasbaar, wel zou de indeling per project gemaakt kunnen worden. De wens is dat het de invloedsfactoren en de opdeling hiervan algemeen toepasbaar is. Er is derhalve voor gekozen alleen het framework van CENELEC (1999) toe te passen, zoals weergegeven in Figuur 19.

Groeperen en bundelen factoren

Voor de volgende stap in het onderzoek, de interviews met de experts, is het noodzakelijk dat van de invloedsfactoren uit de literatuur een werkbare lijst wordt gevormd. Allereerst is de tabel met invloedsfactoren opgedeeld aan de hand van de 3 categorieën uit het hiervoor beschreven framework. Vervolgens zijn de invloedfactoren gegroepeerd en gebundeld. Deze onderverdeling van de invloedsfactoren zegt nog niets over de mate van invloed van de verschillende factoren. Dit dient bij de volgende stap in het onderzoek door de experts aangegeven te worden. De indeling is slechts een hulpmiddel om alle invloedsfactoren overzichtelijk weer te geven. Hier zal nu de werkwijze van het groeperen en bundelen van de invloedsfactoren beschreven worden.

De genoemde invloedsfactoren in de literatuur hebben niet hetzelfde detailniveau. Sommige invloedsfactoren zijn erg algemeen en generiek. Andere zijn gedetailleerd en specifiek. Om een beter inzicht te krijgen hoe al deze invloedsfactoren ten opzichte van elkaar staan, worden ze gegroepeerd.

Detaillistische invloedsfactoren worden hierbij naast een vergelijkbare algemene invloedsfactor geplaatst. Elke kolom naar rechts betekent dus een opsplitsing of een onderdeel van de factor in de

kolom daarvoor. Met deze weergave is er een overzicht verkregen van hoe alle factoren met elkaar te maken hebben.

Met het overzicht van de groeperingen van de invloedsfactoren kan gekozen worden op welk detailniveau, dus naar welke invloedsfactoren of groepering hiervan, er specifiek gevraagd wordt tijdens de interviews met de experts. Dit wordt gedaan door invloedsfactoren te bundelen. De bundeling van invloedsfactoren is net zo vaak herhaald, totdat er een werkbare lijst van factoren overbleef. Factoren die gebundeld zijn, worden gemerkt met een grijze kleur. Zij maken onderdeel uit van de “bovenliggende” of “samenvattende” invloedsfactor die links naast de grijs gekleurde invloedsfactoren staan. Om de werkwijze te verduidelijken volgt een voorbeeld (weergegeven in Figuur 21). Een invloedsfactor is “bouw van het systeem”. Hieronder valt ook de groepering van de invloedsfactoren (grijs gekleurd in de tabel): onjuiste afstemming ontwerp en bouw, fouten tijdens de uitvoering, leveringsproces en bouwomstandigheden.

<i>invloedsfactor</i>	<i>invloedsfactor</i>
bouw van het systeem	onjuiste afstemming ontwerp en bouw
	fouten tijdens de uitvoering
	leveringsproces
	bouwomstandigheden

Figuur 21: invloedsfactor "bouw van het systeem"

De volledige tabel met daarin alle invloedsfactoren uit de literatuur is weergegeven in bijlage 4D.

Het is de bedoeling dat de invloedsfactoren zoveel mogelijk complementair aan elkaar zijn. Er is getracht zo min mogelijk overlap tussen de verschillende invloedsfactoren te hebben. Een doel van het onderzoek is immers om de onderlinge verhoudingen tussen de invloedsfactoren in kaart te brengen.

Bijlage 4D

Framework invloedsfactoren ingevuld

De invloedsfactoren die in de grijs gekleurde vakjes staan, zijn meegenomen in de bovenliggende invloedsfactor (links t.o.v. grijze vakjes).

1 systeem eigenschappen

invloedfactor	invloedsfactor	invloedsfactor	invloedsfactor
1.1 het ontwerp van het systeem	1.1.1 specificaties (fouten in)	1.1.1.1 vereiste kwaliteit van het eindproduct	
		1.1.1.2 ontwerpcapaciteit (verwachte gebruikintensiteit)	
		1.1.1.3 Life Cycle Costs	financiën / budget
		1.1.1.4 verwachte levensduur	
		1.1.1.5 wettelijke eisen en randvoorwaarden	1.1.1.5.1 veiligheidseisen
			geluidshinder
			verlichting
	1.1.2 ontwerpkeuzes / ongeschikte ontwerpen		stroomvoorziening
			bodem en water
			luchtkwaliteit
			afwatering
		1.1.1.6. scopewijzigingen	
		1.1.2.1 materiaalkeuze	1.1.2.1 duurzaamheid
			1.1.2.2 prestaties technische componenten / machines
			1.1.2.3 product leveranciers
			vermoeidheid
			corrosie
			levensduur
			electrische storingen
		1.1.2.2 geometrie van de weg	afmetingen (bijv. hoe breed)
			bochtigheid
			aansluitingen
1.2 bouw van het systeem	1.1.3 complexiteit van het systeem	1.1.2.3 vervangbaarheid / modularisering	
		1.1.2.4 menselijke impact op ontwerpproces	
		naast elkaar bestaan van automobi-listen, passagiers, vrachtverkeer, personeel, hulpdiensten in de operationele ruimte	
		1.1.4 software (fouten)	compatibiliteit
	onjuiste afstemming ontwerp en bouw		
		fouten tijdens de uitvoering	menselijke fouten
		leveringsproces	
		bouwomstandigheden	
1.3 omgeving van het systeem	bereikbaarheid van het systeem	voor hulpdiensten	
		voor onderhoud	
		tijdens de bouw	
		verandering in de tijd	
	de mate van integratie van het systeem in de omgeving	variatie in de omgeving (vaak verschillend)	
		beperkingen die worden opgelegd door bestaande infrastructuur en systemen	
		natuurlijke invloed	temperatuur, vochtigheid, stof, aardbeving, verzakking
			buitengewone weersomstandigheden
			gladheid
	afvoercapaciteit onderliggend wegennet		

2 exploitatie eigenschappen

<i>invloedfactor</i>	<i>invloedsfactor</i>	<i>invloedsfactor</i>	<i>invloedsfactor</i>
2.1 gebruiksomstandigheden	2.1.1 intensiteit/capaciteit verhouding	stijging verkeersintensiteiten	
	2.1.2 belasting voertuigen	overbelasting	
		stijging belasting voertuigen	
	2.1.3 weggebruikers	menselijke factoren	menselijke fouten
			menselijk ingrijpen
	2.1.4 incidenten	incident afhandeling	
2.2 bedieningsomstandigheden	2.2.1 bedieningspersoneel	menselijke factoren	menselijke fouten
			menselijk ingrijpen
		vaardigheden bedieningspersoneel	deskundigheid
			training
		aantal werknemers	
		ernst van toegewezen taken	
		werkgewoontes	
	2.2.2 veiligheids- en bedieningsprocedures	veiligheidseisen	
	2.2.3 informatie	informatiestroom	
		interpretatie van informatie door personeel	
	2.2.4 diensten door externe partijen		
2.3 verandering mission profile			

3 onderhoudseigenschappen

<i>invloedfactor</i>	<i>invloedsfactor</i>	<i>invloedsfactor</i>	<i>invloedsfactor</i>
3.1 onderhoudsstrategie	onderhoudsspecificaties /procedures	ontoereikend onderhoud / goed onderhoud	
		onderhoudskeuzes/planning	preventief onderhoud
			correctief onderhoud
3.2 uitvoeren onderhoud	3.2.1 defecten door onderhoudswerkzaamheden		
	3.2.2 tijd benodigd voor onderhoud	administratieve vertraagting	detectie
			identificatie
			lokalisatie
		logistieke vertraagting	
		onderhoudstijd	
	3.2.3 testen	test materiaal	
		beperkte mogelijkheid voor testen van compleet systeem	
	3.2.4 onderhoudsomgeving	noodzaak om verkeer te behouden tijdens uitvoeren (klein) onderhoud	verkeersmaatregelen bij onderhoud
		langs de weg werken	
	3.2.5 onderhoudspersoneel	menselijke fouten	
		vaardigheden onderhoudspersoneel	deskundigheid
			training
		aantal werknemers	
		ernst van toegewezen taken	
		werkgewoontes	
	3.2.6 onderhoudsfaciliteiten	reserve onderdelen	
		verbruiksgoederen	
		beschikbaarheid van materialen tijdens levensduur systeem	
		gereedschap	gemeenschappelijk
			speciaal
	3.2.7 onderhoud aan veiligheidssysteem en onderhoud aan veiligheid gerelateerde faalmodus		
	3.2.8 veiligheidsvoorschriften		
	3.2.9 externe services		

Bijlage 5A

Expert interviews

In deze bijlage wordt de werkwijze van de expert interviews beschreven.

Doel interviews

Met het voorleggen van de invloedsfactoren uit de literatuur aan experts uit de snelweginfrastructuur sector wordt ten eerste getoetst in hoeverre deze factoren uit allerlei (andere) industrieën van toepassing zijn op een snelwegsysteem.

Ten tweede geeft het een overzicht van invloedsfactoren die invloed hebben op de RAMS kwaliteit van een snelwegsysteem. Hierbij dient ook de mate van invloed gekwantificeerd te worden, om zo de verhoudingen tussen de verschillende invloedfactoren zichtbaar te maken.

Het is belangrijk dat de expert, afgaande op ervaringen met voorgaande projecten en bestaande systemen, aangeeft wat er bij die systemen voor zorgt dat de RAMS prestatie beïnvloed wordt. Simpel gezegd dienen met de interviews achterhaald te worden welke factoren voor de onbetrouwbaarheid, niet-beschikbaarheid, slechte onderhoudbaarheid en onveiligheid zorgen.

Werkwijze expert interviews

Voorafgaand aan het interview heeft de expert een document met informatie over het interview toegezonden gekregen. Dit document is terug te vinden in bijlage 5B.

De experts kregen een lijst met 36 invloedsfactoren voorgelegd. Dit is tevens informatieverzamelinstrument en is weergegeven in bijlage 5C deel 1. De onderzoeker geeft een korte definitie en uitleg bij elke invloedsfactor, die opgesteld zijn in het vorige hoofdstuk van dit rapport. Waarnodig geeft hij extra uitleg, om er zo voor te zorgen dat elke expert zoveel mogelijk hetzelfde beeld heeft bij elke invloedsfactor.

De expert geeft aan hoe groot de mate van invloed van de invloedsfactor is op de RAMS aspecten van een snelwegsysteem. De invloedsfactoren worden één voor één doorlopen en de mate van invloed wordt per aspect van RAMS apart beoordeeld. Eerst zal dus de invloed op de betrouwbaarheid (R) gescoord worden, daarna op de beschikbaarheid (A) enz. Voor elk RAMS aspect is een eenduidige definitie opgesteld, die door de expert gelezen dient te worden. De schaal waarmee de experts de mate van invloed aangeven is een 5 punts Likert-schaal: zeer laag, laag, middel, hoog, zeer hoog. Per RAMS aspect en voor elk niveau van invloed een referentiegetal en een tekstuele omschrijving gegeven. Samen met de definities voor de RAMS aspecten is dit weergegeven in bijlage 5D. Deze omschrijvingen worden gegeven om er voor te zorgen dat elke afzonderlijke expert hetzelfde bedoeld als hij een mate van invloed (bijv. “zeer hoog”) aangeeft. Op deze manier kunnen de resultaten van de interviews met elkaar vergeleken worden. Het kan zo zijn dat een mogelijke invloedsfactor uit de lijst niet van toepassing is of geen invloed heeft op een snelwegsysteem (de invloedsfactoren zijn immers voornamelijk afkomstig uit andere industrieën als de infrastructuur). Dit kan de expert dan gewoon aangeven. Bijna alle invloedsfactoren beïnvloeden de RAMS prestatie negatief. Enkele invloedsfactoren kunnen echter een positieve invloed hebben op de RAMS prestatie. De expert dient dit dan aan te geven.

Indien de invloed van een invloedsfactor op één van de RAMS aspecten is aangemerkt als minimaal “middel”, dan dient voor die invloedsfactor aangegeven te worden in welke levenscyclusfase de invloedsfactor haar invloed op het systeem uitoefent. Hierbij kunnen eventueel meerdere levensfasen genoemd worden. De expert heeft hierbij de keuze uit de initiatief-, ontwerp-, realisatie- en gebruikfase van het systeem. Deze informatie wordt verzameld doormiddel van het aankruisen van de levensfase in een tabel, zoals weergegeven in bijlage 5C deel 2.

Op het moment dat een expert aangeeft dat de invloed van een factor hoog is op een van de aspecten van RAMS, wordt er gevraagd waarom dit volgens hem zo is. Dit is ook gedaan bij antwoorden die verschillen van andere experts. Er wordt dus telkens naar de redenering bij het antwoord van de experts gevraagd. Dit geeft verdere inzichten voor het onderzoek en het helpt de denkwijze van de expert te structureren.

Snelwegstelsysteem

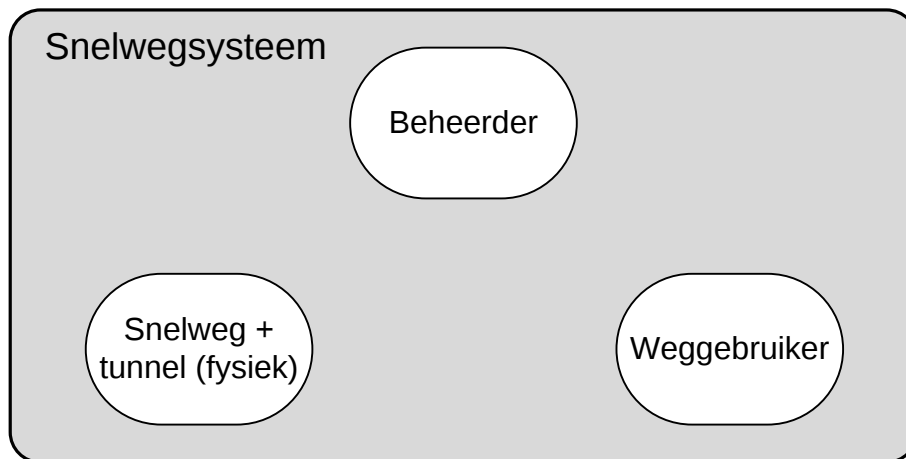
Tijdens het interview met de expert wordt er gesproken over de mate van invloed van de invloedsfactoren op een snelwegstelsysteem. Hierbij is het dus van groot belang om duidelijk te hebben omschreven wat er onder een snelwegstelsysteem wordt verstaan. In dit onderzoek is een snelwegstelsysteem gedefinieerd als een snelweg met als onderdeel daarin een verkeerstunnel. Door zowel de weg zelf als de tunnel in dit onderzoek te beschouwen kunnen de verhoudingen tussen deze onderdelen zichtbaar gemaakt worden.

Het is van belang dat de expert zijn kennis niet specifiek op een project projecteert maar op een generiek of gemiddelde snelweg. Belangrijk is dat de expert dient te praten over zijn algemene ervaringen opgedaan tijdens zijn loopbaan.

In dit onderzoek worden niet alleen de technische installaties en de fysieke weg bekeken, maar ook alle andere zaken die invloed hebben op de kwaliteit en prestaties van het snelwegstelsysteem. Als snelwegstelsysteem wordt daarom het geheel gezien van:

- Wegbeheerder
- Weggebruiker
- Fysieke systeem van de snelweg en verkeerstunnel

Dit is schematisch weergegeven in Figuur 14.



Figuur 22: snelwegstelsel

Selectie experts

Met de interviews met de experts wordt getracht een zo volledig beeld met zoveel mogelijk overeenkomst met de werkelijke situatie te krijgen. Daarvoor dient de groep van experts te voldoen aan de volgende eisen:

- Ruime ervaring met snelweginfrastructuur. Ervaring met aanleg- en onderhoudsprojecten. Niet alleen betrokkenheid bij het ontwerp, maar ook bij realisatie, beheer en onderhoud.
- Ervaringen bij verschillende de verschillende marktpartijen: opdrachtgever, ingenieursbureau en aannemer.

In deze fase van het onderzoek zijn in totaal 11 experts geïnterviewd. Door tijdgebrek bij één interview heeft één expert de informatieverzamel tabel niet volledig ingevuld. De 10 experts die dit wel gedaan hebben waren werkzaam bij opdrachtgever (10%: RWS 1), ingenieursbureau (50%: ARCADIS 4 en DHV 1) en aannemer (40%: Dura Vermeer 1 en Heijmans 3). Helaas is het niet mogelijk gebleken om meer personen aan de kant van de opdrachtgever te interviewen, vanwege een gebrek aan tijd bij experts van deze organisatie.

In het hoofdverslag zijn de experts genummerd. De nummers corresponderen met de organisaties waar de experts werkzaam zijn, weergegeven in Tabel 10.

nummer	organisatie
expert 1	ingenieursbureau
expert 2	ingenieursbureau
expert 3	ingenieursbureau
expert 4	ingenieursbureau
expert 5	aannemer
expert 6	opdrachtgever
expert 7	aannemer
expert 8	ingenieursbureau
expert 9	aannemer
expert 10	aannemer
expert 11	aannemer

Tabel 10: Nummering experts

Uitgeschreven interviews

De interviews met de experts zijn (beknopt) uitgeschreven en terug te vinden in bijlage 5E.

Getoetste en aangevulde lijst invloedsfactoren

Tijdens de interviews is de experts de mogelijkheid gegeven om invloedsfactoren aan de bestaande lijst toe te voegen. In de interviews zijn er door de experts slechts incidenteel invloedsfactoren aan de bestaande lijst toegevoegd. Geen van deze invloedsfactoren werd echter door de meerderheid van de experts als erg belangrijk gezien, dit ook ten opzichte van de andere invloedsfactoren. Voor de volledigheid worden deze incidenteel genoemde factoren hier weergegeven:

- Gebruik nieuwe, nog niet vaak toegepaste, technieken of producten. (expert Visser)
- Terroristische dreiging, waardoor de tunnel moet worden afgesloten (is 1x gebeurd in Nederland tijdens de nasleep van 9/11). (experts Lagemaat en Lughtenberg)
- Verkorte tijd van ontwerpproces. (expert Schilder)
- Kwaliteit personeel opdrachtgevers. (expert Schilder)
- Technologische ontwikkelingen. Beschikbaarheid van betere materialen en technieken in de toekomst. (expert Van der Ven)

Analyse resultaten interviews

De antwoorden die door de experts in de interviews zijn gegeven worden geanalyseerd. Allereerst zal er een statistische analyse uitgevoerd worden. Van de antwoorden van de experts wordt een gemiddelde berekend. Hierbij wordt ook de variantie in de antwoorden bekeken. Ook wordt er per invloedsfactor berekend hoe groot het percentage van de experts is die aangegeven hebben dat een invloedsfactor een invloed van minimaal “middel” heeft. Er is statistisch gezien slechts een kleine groep waarnemingen (10 experts) beschikbaar. Derhalve is er voor gekozen om geen verdere statistische analyses uit te voeren, omdat de toegevoegde waarde hiervan zeer klein is.

In de analyse van de gegevens verkregen uit de interviews met de experts is de mate van invloed numeriek weergegeven, zoals beschreven is in Figuur 23.

<i>invloed</i>	<i>numeriek</i>
zeer laag	1
laag	2
middel	3
hoog	4
zeer hoog	5

Figuur 23: mate van invloed numeriek weergegeven

De volledige samenvatting en analyse van de resultaten van de interviews wordt weergegeven in 3 tabellen welke weergegeven zijn in de bijlage 5F. In de eerste tabel is de gemiddelde invloed per RAMS aspect aangegeven en het percentage van de experts wat als invloed minimaal “middel” heeft aangegeven. In de tweede tabel is de variantie tussen de van de antwoorden van de experts weergegeven. In de derde tabel is weergegeven in welke levenscyclusfases volgens de experts de invloed op het snelwegsysteem wordt uitgeoefend. De belangrijkste en opmerkelijkste resultaten worden hierna besproken.

Variantie

Van de 148 (37 factoren * 4 RAMS aspecten) gemiddelde hoogtes van invloeden hebben er 23 een variantie van 2 of hoger (wat hoog is bij 10 waarnemingen en mogelijke antwoorden van 1 t/m 5). Over het algemeen kan gezegd worden dat de experts het wel redelijk eens zijn met elkaar. Dat de experts toch niet overal hetzelfde over denken is wellicht te verklaren door het feit dat ze verschillende inhoudelijke achtergronden hebben (aanbesteding, ontwerp, onderhoud of meer algemeen) of dat ze werkzaam zijn bij verschillende marktpartijen (opdrachtgever, ingenieursbureau, aannemer). Daarnaast kunnen er natuurlijk altijd verschillen van interpretatie zijn.

Bijlage 5B

In deze bijlage is het informatiedocument weergegeven voor de expert t.b.v. interview

Wat wil ik van u weten? (korte omschrijving)

U krijgt een lijst met invloedsfactoren op de RAMS aspecten van een systeem te zien. Deze invloedsfactoren zijn verkregen uit de (wetenschappelijke) literatuur over RAMS, welke voornamelijk niet-infrastructuur gerelateerde sectoren beschrijft. Graag zou ik willen dat u voor elke invloedsfactor aangeeft hoe groot haar invloed is op de RAMS prestatie van een snelwegsysteem (weg + verkeerstunnel).

Het kan zijn dat een invloedsfactor van de lijst niet van toepassing of geen invloed heeft op een snelwegsysteem (de invloedsfactoren zijn immers voornamelijk afkomstig uit andere industrieën als de infrastructuur). Dit kunt u dan ook aangeven. De invloed dient per RAMS aspect apart ingevuld te worden. Dus voor bijvoorbeeld de invloedsfactor ‘materiaalkeuze’, geeft u aan wat hiervan de invloed is op de betrouwbaarheid, beschikbaarheid, onderhoudbaarheid zowel als de veiligheid. Indien u de invloed van een invloedsfactor bij minimaal één van de RAMS aspecten aangemerkt als minimaal “middel”, dan dient voor die invloedsfactor aangekruist te worden in welke levenscyclusfase de invloedsfactor haar invloed op het systeem uitoefent.

Hoogstwaarschijnlijk kunt u zelf ook nog enkele invloedsfactoren op de RAMS kwaliteit van een snelwegsysteem noemen, die nog niet in de lijst staan. Graag wil ik u vragen om deze toe te voegen en ook hierbij de mate van invloed te benoemen per RAMS aspect.

In het interview zal voor de factoren met de hoogste invloed gevraagd worden of deze factor al meegenomen wordt in de praktijk. Met andere woorden: Wordt hier rekening mee gehouden? Vervolgens zal er naar de bestaande beheersmaatregelen gevraagd worden en ook wat het effect daarvan is.

De lijst met invloedsfactoren uit de literatuur bevinden zich aan het eind van dit document. Hierbij zijn ook omschrijvingen gegeven.

Stappenplan expert interview

Het interview zal bestaan uit de volgende onderdelen:

- In het kort de aanleiding en inhoud van dit onderzoek
- Uitleg over hoe de vragen beantwoord dienen te worden
- De definities van de RAMS aspecten
- Het beantwoorden van de vragen door de expert

Aanleiding onderzoek

De directe aanleiding voor dit onderzoek is de betrokkenheid van ARCADIS bij het ontwerpen van een RAM-plan en een veiligheidsplan voor de A4 tussen Delft en Schiedam.

De achterliggende aanleiding is dat Rijkswaterstaat in de toekomst steeds vaker het ontwerpen, de realisatie en het beheer van snelwegen aan marktpartijen wil overlaten. De RAMS methodiek kan een goede manier zijn om de kwaliteit van de weg te beschrijven, bepalen, monitoren, beoordelen

en waarborgen. Een mogelijk toekomst scenario, wat al gedeeltelijk de werkelijkheid is, is dat Rijkswaterstaat als belangrijkste ontwerpeisen de RAMS eisen toepast. De marktpartij dient dan een snelwegsysteem te ontwikkelen en eventueel te beheren, dat de geëiste RAMS prestaties waarmaakt. Door deze methodiek krijgen marktpartijen meer ontwerprijheid, en dus ook meer verantwoordelijkheden.

Algemene uitleg onderzoek

In opdracht van ARCADIS en ter afronding van mijn 3TU masteropleiding Constuction Management & Engineering, voer ik een onderzoek uit naar de RAMS aspecten van snelwegsysteem. Het is een onderzoek naar de belangrijkste invloedsfactoren op de RAMS prestatie van snelwegsysteem en hoe deze gemanaged kunnen worden. Hierbij worden niet alleen de eigenschappen van de technische installatie beschouwd, maar alle mogelijke factoren die de RAMS prestatie van het snelwegsysteem beïnvloeden.

Scope / te beoordelen systeem

Dit onderzoek zal zich richten op snelwegsysteem met daarin als onderdeel een verkeerstunnel. Ik wil in dit onderzoek niet alleen de technische installaties en de fysieke weg op zich bekijken, maar ook alle andere zaken die invloed hebben op de kwaliteit van het snelwegsysteem meenemen. Als snelwegsysteem zie ik het geheel van:

- Wegbeheerder
- Weggebruiker
- Fysieke systeem van de weg/tunnel

Wat wil ik met dit interview bereiken

Een overzicht van invloedsfactoren die invloed hebben op de RAMS kwaliteit van een snelwegsysteem. Hierbij wil ik ook de mate van invloed in gekwantificeerd krijgen, om zo de verhoudingen tussen de verschillende invloedsfactoren zichtbaar te maken.

Het is belangrijk dat de expert, afgaande op ervaringen met voorgaande projecten en bestaande systemen, aangeeft wat er bij die systemen voor zorgt dat de RAMS prestatie beïnvloed wordt.

Ik wil achterhalen welke factoren voor de onbetrouwbaarheid, niet-beschikbaarheid, slechte onderhoudbaarheid en onveiligheid zorgen.

Definitie invloedsfactor

Een invloedsfactor is “Een factor die de RAMS prestatie van een systeem kan beïnvloeden.” We beschouwen hier de RAMS prestatie van het systeem tijdens de gebruiksfase.

Uitleg over hoe de expert de vragen dient te beantwoorden

Belangrijk is dat de expert dient te praten over zijn algemene ervaringen opgedaan tijdens zijn loopbaan. De vragen dienen niet projectspecifiek beantwoord te worden. Experts dienen de mate van invloed van een factor op de RAMS-aspecten aan te geven. De schaal waarmee de experts de mate van invloed aangeven is een 5 punts Likert-schaal: Heel laag, laag, middel, hoog, heel hoog.

Indien de invloed van een invloedsfactor is aangemerkt als minimaal “middel”, dan dient voor die invloedsfactor aangekruist te worden in welke levenscyclusfase de invloedsfactor haar invloed op het systeem uitoefent. Hierbij kunnen eventueel meerdere levensfases aangekruist worden. Keuze uit Initiatief-, ontwerp-, realisatie- en gebruikfase van het systeem.

De informatie verzameling in een stappenplan

Stap 1: De experts krijgen de lijst met eventuele invloedsfactoren (afkomstig uit de literatuur) te zien. Hier geven ze aan welke factoren veel invloed hebben en met welke mate en in welke levensfases deze invloedsfactor haar invloed uitoefent. De experts krijgen de mogelijkheid om eventueel nog factoren toe te voegen aan deze lijst.

Stap 2: (Indien tijd over) De factoren die door de expert aangemerkt zijn met een hoge invloed op de RAMS aspecten worden nogmaals bekeken. Er wordt gevraagd of deze factor al meegenomen wordt in de praktijk. Met andere woorden: Wordt hier rekening mee gehouden? Vervolgens zal er naar de bestaande beheersmaatregelen gevraagd worden en ook wat het effect daarvan is.

Als er factoren zijn aangegeven die veel invloed hebben op de RAMS aspecten, maar waar geen of met weinig effect beheersmaatregelen voor bestaan, dan zal de expert gevraagd worden of hij kan bedenken hoe dit beter gemanaged kan worden (bijv. mogelijke beheersmaatregelen).

Voor de interviewer:

- Mate van invloed aangeven in tabel:

HL Heel Laag

L Laag

M Middel

H Hoog

HH Heel Hoog

- Aankruisen levenscyclusfase

Managen van invloedfactoren met invloed Hoog of Heel Hoog

- Aangeven bestaande maatregelen
- Aangeven eventuele maatregelen voor de toekomst

Bijlage 5C deel 1

Informatie verzamelinstrument 1 tijdens interview met expert

Invloed invullen: ZL, L, M, H, ZH		RAMS aspecten			
	invloedsfactoren	R	A	M	S
1	systeemeigenschappen				
1.1	het ontwerp				
1.1.1	specificaties				
1.1.1.1	vereiste kwaliteit eindproduct				
1.1.1.2	gevraagde capaciteit systeem				
1.1.1.3	Life Cycle Costs				
1.1.1.4	ontwerplevensduur systeem				
1.1.1.5	wettelijke eisen en randvoorwaarden				
1.1.1.5.1	veiligheidseisen				
1.1.1.6	scope wijzigingen				
1.1.2	ontwerpkeuzes				
1.1.2.1	materiaalkeuze				
1.1.2.1.1	duurzaamheid (sustainability)				
1.1.2.1.2	prestaties technische componenten en installaties				
1.1.2.1.3	productleveranciers				
1.1.2.2	geometrie van de weg				
1.1.2.3	vervangbaarheid				
1.1.2.4	menselijke impact op het ontwerpproces				
1.1.3	complexiteit van het systeem				
1.1.4	software				
1.2	bouw van het systeem				
1.3	omgeving van het systeem				
2	exploitatie eigenschappen				
2.1	gebruiksomstandigheden				
2.1.1	gebruiksintensiteit en I/C verhouding				

Invloed invullen: ZL, L, M, H, ZH		RAMS aspecten			
	invloedsfactoren	R	A	M	S
2.1.2	belasting voertuigen				
2.1.3	weggebruikers / incidenten				
2.1.4	incident afhandeling				
2.2	bedieningsomstandigheden				
2.2.1	bedieningspersoneel				
2.2.2	bedienings- en veiligheidsprocedures				
2.2.3	informatie				
2.2.4	diensten door externe partijen				
2.3	verandering "Mission profile"				
3	onderhoudsomstandigheden				
3.1	onderhoudsstrategie, specificaties en procedures				
3.2	uitvoering onderhoud				
3.2.1	defecten door onderhoudswerkzaamheden				
3.2.2	tijd benodigd voor uitvoeren onderhoud				
3.2.3	testen				
3.2.4	onderhoudsomgeving				
3.2.5	onderhoudspersoneel				
3.2.6	onderhoudsfaciliteiten				
3.2.7	onderhoud aan veiligheidssysteem en veiligheid gerelateerde faalmodus				
3.2.8	veiligheidsvoorschriften				
3.2.9	diensten door externe partijen				

Bijlage 5C deel 2

Informatie verzamelinstrument 2 tijdens interview met expert

Aankruisen levenscyclusfase		RAMS aspecten			
	invloedsfactoren	initiatief	ontwerp	realisatie	gebruik
1	systeemeigenschappen				
1.1	het ontwerp				
1.1.1	specificaties				
1.1.1.1	vereiste kwaliteit eindproduct				
1.1.1.2	gevraagde capaciteit systeem				
1.1.1.3	Life Cycle Costs				
1.1.1.4	ontwerplevensduur systeem				
1.1.1.5	wettelijke eisen en randvoorwaarden				
1.1.1.5.1	veiligheidseisen				
1.1.1.6	scope wijzigingen				
1.1.2	ontwerpkeuzes				
1.1.2.1	materiaalkeuze				
1.1.2.1.1	duurzaamheid (sustainability)				
1.1.2.1.2	prestaties technische componenten en installaties				
1.1.2.1.3	productleveranciers				
1.1.2.2	geometrie van de weg				
1.1.2.3	vervangbaarheid				
1.1.2.4	menselijke impact op het ontwerpproces				
1.1.3	complexiteit van het systeem				
1.1.4	software				
1.2	bouw van het systeem				
1.3	omgeving van het systeem				
2	exploitatie eigenschappen				
2.1	gebruiksomstandigheden				
2.1.1	gebruiksintensiteit en I/C verhouding				

Aankruisen levenscyclusfase		RAMS aspecten			
	invloedsfactoren	initiatief	ontwerp	realisatie	gebruik
2.1.2	belasting voertuigen				
2.1.3	weggebruikers / incidenten				
2.1.4	incident afhandeling				
2.2	bedieningsomstandigheden				
2.2.1	bedieningspersoneel				
2.2.2	bedienings- en veiligheidsprocedures				
2.2.3	informatie				
2.2.4	diensten door externe partijen				
2.3	verandering "Mission profile"				
3	onderhoudsomstandigheden				
3.1	onderhoudsstrategie, specificaties en procedures				
3.2	uitvoering onderhoud				
3.2.1	defecten door onderhoudswerkzaamheden				
3.2.2	tijd benodigd voor uitvoeren onderhoud				
3.2.3	testen				
3.2.4	onderhoudsomgeving				
3.2.5	onderhoudspersoneel				
3.2.6	onderhoudsfaciliteiten				
3.2.7	onderhoud aan veiligheidssysteem en veiligheid gerelateerde faalmodus				
3.2.8	veiligheidsvoorschriften				
3.2.9	diensten door externe partijen				

Bijlage 5D

Omschrijving RAMS aspecten en invloedsniveaus

Betrouwbaarheid (Reliability)

Specifiek voor betrouwbaarheid: Wat verhoogt de kans op falen van het systeem?

Eenheid invloed: Betrouwbaarheidsfunctie (kans). Dit kan geconcretiseerd worden in een frequentie van falen (= vertaling van MTBF), bijvoorbeeld aantal storingen per jaar.

Verdere uitleg: Falen als gevolg van de invloedsfactor. De bijdrage van deze invloedsfactor op de kans op falen van het systeem. Als gevolg van deze invloedsfactor wordt de waarschijnlijkheid dat de vereiste functies (en dus het functioneren van het systeem) uitgevoerd worden verkleind. Deze invloedsfactor zorgt voor een verhoging van de frequentie van falen van het systeem.

De mate van invloed, op een schaal van:

- Zeer laag frequentie van falen wordt met 0-1% verhoogd.
Neemt niet tot nauwelijks waarneembaar toe.
- Laag frequentie van falen wordt met 1-5% verhoogd.
Neemt nauwelijks waarneembaar tot beperkt waarneembaar toe.
- Middel frequentie van falen wordt met 5-10% verhoogd.
Neemt duidelijk waarneembaar toe.
- Hoog frequentie van falen wordt met 10-25% verhoogd.
Wordt storend.
- Zeer hoog frequentie van falen wordt met 25-50% verhoogd.
Wordt zeer storend.

Een verhoging met 100% wil zeggen dat de MTBF 2x zo klein wordt! Oftewel het systeem faalt twee keer zo vaak.

Beschikbaarheid (Availability)

Specifiek voor beschikbaarheid: Wat draagt bij aan de niet-beschikbaarheid van het systeem?

Eenheid invloed: Niet-beschikbaarheidsfunctie (kans). Dit kan geconcretiseerd worden uren per jaar. Dit houdt dus in, de bijdrage van deze invloedsfactor aan de niet-beschikbaarheid van het systeem in uren per jaar.

Verdere uitleg: Het gaat hier dus over alle mogelijke invloedsfactoren die de niet-beschikbaarheid kunnen beïnvloeden. Het gaat dus niet alleen om storingen en onderhoud.

De mate van invloed, op een schaal van:

- Zeer laag de niet-beschikbaarheid wordt maximaal met 1 uur per jaar verhoogd. (tot 0,4% van totaal)
- Laag „ met 1 tot 5u per jaar per jaar verhoogd. (tot 2% van totaal)
- Middel „ met 5 tot 10 u per jaar verhoogd. (tot 4% van totaal)
- Hoog „ met 10 tot 25u per jaar verhoogd. (tot 10% van totaal)
- Zeer hoog „ met meer dan 25u per jaar verhoogd. (meer dan 10% van totaal)

De vertaling van percentages en uren is op basis van een totale niet-beschikbaarheid van 250u per jaar (= beschikbaarheid 97,1%).

Onderhoudbaarheid (Maintainability)

Specifiek voor onderhoudbaarheid: Wat draagt bij aan dat het onderhoud niet binnen de gestelde tijden en onder gegeven voorwaarden kan worden uitgevoerd?

Eenheid: kans dat onderhoud niet binnen vastgestelde tijden, onder gegeven omstandigheden uitgevoerd kan worden. Dit kan komen door een stijging van de hoeveelheid onderhoudswerkzaamheden en/of van de tijdsduur van de onderhoudswerkzaamheden.

Verdere uitleg: De tijd benodigd voor onderhoud wordt vooral bepaald door de ontwerp- en investeringskeuzes **Invalid source specified..** Als gevolg van deze keuzes zullen er vastgestelde tijden of voorwaarden voor het uitvoeren van onderhoud bestaan. Welke invloedsfactoren kunnen er voor zorgen dat het onderhoud vaker en langer uitgevoerd zal worden dan vooraf gepland?

Mogelijke stijging door deze invloedsfactor van het aantal benodigde reparaties en/of de tijd die nodig is om de functie van het systeem te herstellen. Hierbij moet gedacht worden aan dingen als: Aantal nood reparaties, hoeveelheid gepland onderhoud en de duur van de onderhoudswerkzaamheden (MTTR (mean-time-to-restore)).

De mate van invloed, op een schaal van:

- Zeer laag 0-1%
Zeer kleine kans dat het onderhoud hierdoor buiten de geplande tijd valt.
- Laag 1-5%.
Kleine kans op uitloop.
- Middel 5-10%
Kans op uitloop bestaat, maar is niet groot.

- Hoog 10-25%

Reële kans op uitloop. 1 op de 10 tot 1 op de 4 keer kan onderhoud hierdoor niet binnen de gestelde tijden uitvoert worden.

- Zeer hoog 25-100%

Kans op uitloop groot tot vrijwel zeker. Onderhoud past bijna zeker niet in tijdsvensters.

Veiligheid (Safety)

Specifiek voor veiligheid: Wat zorgt er voor dat het systeem minder veilig wordt? Wat kan er voor zorgen dat het systeem niet vrij is van onaanvaardbare risico's in termen van letselschade aan mensen.

Eenheid: Mogelijke bijdrage aan onaanvaardbare risico's in termen van letselschade aan mensen. Het aantal doden en ziekenhuisgewonden als gevolg van het gebruik van het systeem.

De mate van invloed, op een schaal van:

- Zeer laag 0-0,1%

Kans op toename letselslachtoffers verwaarloosbaar klein.

- Laag 0,1-1%

Uitermate kleine kans.

- Middel 1-10%

Kans bestaat, maar is niet groot.

- Hoog 10-25%

Reële kans.

- Zeer Hoog 25-50%

Vrijwel zeker dat hierdoor het aantal letselslachtoffers zal toenemen.

Bijlage 5E

In deze bijlage zijn de uitgeschreven interviews met de experts weergegeven.

Uitwerking interview

Naam: Henk Visser

Organisatie: ARCADIS

Functie/expertise: Onderhoudsadvies, wegontwerp, asset management.

Datum: 22 april 2010

Tijdstip: 14:00u – 15:30u

Locatie: Amersfoort

En

Datum: 17 juni 2010

Tijdstip: 11:00u – 13:00u en 15:00u – 16:00u

Locatie: Amersfoort

Algemeen

Misschien is het beter om een splitsing te maken tussen onderhoudsstrategie en de specificaties en procedures.

Een hoger attentie niveau van de weggebruiker, betekent een hogere veiligheid.

De mate van veiligheid in het verkeer, wordt voornamelijk bepaald door snelheidsverschillen tussen weggebruikers.

Een probleem is de vertaling van bestaande gegevens naar een ontwerp, dus referentie → realisatie, dus theorie → werkelijk gedrag. Elk systeem heeft andere eigenschappen. Hoe ga je dan om met gegevens van bestaande systemen (bijv. RAMS prestatie).

Commentaar bij invloedsfactoren

Ontwerpcapaciteit: In een tunnel geldt, dat minder rijstroken veiliger is. Bij een calamiteit (bijv. brand) ondervinden minder rijstroken hinder. In de open ruimte speelt dit minder.

LCC: uitgaande van gelijkblijvende dimensies (aantal rijstroken). Er zal uiteindelijk altijd als er bezuinigd moet worden, bezuinigd worden op de aanlegkosten. Er zal dat vooral bezuinigd worden op de kwaliteit van de materialen. Je kunt een bepaalde LCC waarde niet los zien van een bepaalde RAMS prestatie. Als de RAMS eisen niet vastliggen, dan zal een bezuiniging dus automatisch ten koste gaan van de RAMS prestatie.

Ontwerp levensduur: Heeft zeker invloed. Hoe langer de levensduur, hoe vaker het badkuipmodel doorlopen zal worden.

Wettelijke eisen en randvoorwaarden: Reinigen ZOAB, geluidshinder.

Veiligheidseisen: Vluchtstrook reinigen. Tunnelwetgeving. Positieve invloed op de veiligheid. Meer bewakingssystemen, die kunnen storingen hebben, dit heeft dan een negatieve invloed op de beschikbaarheid. De kans bestaat ook dat je een storing een keer niet kan vinden. Negatief effect op

de onderhoudbaarheid en beschikbaarheid. Maar door minder ongevallen, is de beschikbaarheid ook hoger. Het effect is wellicht neutraal.

Materiaalkeuze: Als je materialen met lagere kwaliteit neemt, dan beïnvloedt dit de veiligheid negatief. Slecht asfalt, of een tegeltje was los komt, kan een ongeval veroorzaken.

Technische componenten en installaties: Afhankelijkheid van beschikbaarheid van producten bij leveranciers en het aantal leveranciers. Deze vraag kun je eventueel splitsen naar het aantal leveranciers en de prestaties van de apparaten zelf. Het kan zijn dat je beperkt wordt door wat de leverancier kan leveren, waardoor je een bepaalde RAMS prestatie niet kunt halen.

Menselijke fouten in ontwerpproces: We proberen al fouten eruit te halen m.b.v. een verificatiematrix. Menselijke beslissingen kunnen wel grote invloed hebben op het systeem. Vaak is dit een keuze die al vroeg in het proces genomen is, maar wel grote consequenties heeft voor de RAMS prestatie van het systeem.

Complexiteit: Een complex systeem is minder veilig. Dit komt door de afstemming tussen de verschillende onderdelen. Veel verlichting is goed voor de veiligheid, maar is lastig te onderhouden in het midden van de tunnel. Als de tunnel dan ook nog een beperkte hoogte heeft. Complexiteit betekent ook dat je eisen hebt uit meerdere invalshoeken (brandveiligheid, arbo-veiligheid, bereikbaarheid, omgeving).

Software: Vooral fouten als het systeem moet worden uitgebreid. Niemand weet dan meer precies hoe de software werkt. Zeker als niet dezelfde partij het onderhoud uitvoert, als de partij die het ontworpen heeft.

Omgeving: Door de omgeving moet je soms een grotere ontwerpinspanning leveren (extra moeite doen), om de kwaliteit van het systeem te waarborgen. Voorbeeld: Grondwaterprobleem en folie bij A4DS). Geometrie wordt vaak gedwongen door de omgeving. Een ongeluk op een aansluitende weg kan grote invloed hebben op je beschikbaarheid.

Voorbeeld: in 1995/1996 heeft de A2 bij Den Bosch onder water gestaan.

Belasting voertuigen: Een 2x zo zware as heeft een effect van 2^4 (16x) voor de slijtage van het asfalt. Daarnaast zijn we naar supersingles gegaan. Nog maar 2 bredere banden per as (ipv 4 minder brede). Netto zwaardere last per oppervlak.

Bedieningspersoneel: Kan een negatieve invloed hebben op de RAMS prestatie. Verkeerde beslissing of een fout.

Informatie: bijv. bordjes vluchtroute, controle bij foute bediening.

Diensten door derden: Diensten is iets dat je inkoopt. Dit zijn dus onderaannemers e.d. Een kenmerk hiervan is dat deze partij het systeem niet goed kent en dus een mindere kwaliteit levert. Bijv. gras laten maaien door een aannemer.

Als een organisatie bepaalde gedeeltes van het onderhoud uitbesteed aan het derde partij, dan zal dit ten koste gaan van het efficiënt uitvoeren van onderhoud.

Toevoegen invloedsfactoren

Gebruik nieuwe, nog niet vaak toegepaste, technieken of producten. M, M, H, M

Uitwerking interview

Naam: Hans Wacki
Organisatie: ARCADIS (4 dagen in de week gedetacheerd bij Rijkswaterstaat)
Functie en expertise: Planstudies en contractering, veiligheidssystemen, asset management, SE.
Datum: 17 mei 2010
Tijdstip: 11:20u – 13:20u
Locatie: Amersfoort

Algemeen

Scope is heel belangrijk bij RAMS. Houdt wel van holistische benadering: wegmanager, snelweg, weggebruiker binnen 1 systeem. (→ scope goed afbakenen in het verslag)

Ben voor scheiding RAM en S, want S ligt gevoelig. Is altijd negatief gedefinieerd. Minimaal zoveel doden.

Men heeft het vaak over veiligheidssystemen, terwijl het vaak veiligheidsgerelateerde systemen zijn. Vraagt zich af of de veiligheidsgerelateerde systemen in de tunnel wel echt veiligheid gerelateerd zijn. Misschien alleen een paar, maar veel minder wat we denken. Vanuit een veiligheidsprincipe uit een heel andere wereld, sluiten we dan de tunnel af, wat eigenlijk helemaal niet hoeft.

Om de veiligheid te verhogen wil je juist met techniek en software de menselijke factor eruit nemen.

RAMS prestatie kan niet beter, als het budget niet omhoog gaat.

Veiligheidsgerelateerde systemen moet je nooit redundant uitvoeren. Voor beschikbaarheid moet je dat wel doen, maar bij veiligheid niet. Voorbeeld: In een fabriek heb je het 2 out of 3 principe. Ze hebben 3 machines waarvan er altijd 2 moeten draaien om de gevraagde output te leveren. De 3^e machine kan gebruikt worden voor onderhoud en R&D. Waarom hebben we altijd 2 of 4 baans wegen. Waarom niet standaard 3 of 5?

Geld is belangrijk issue, menselijke factoren (hou je daar rekening mee)

Ontwerpen is uit elkaar rafelen, tot kleine component, zodat er geen risico meer is om het goed te ontwerpen. Wij zien ontwerpen vaak als vormgeven. → definitie van ontwerp

Er is geen keuze vrijheid, omdat het systeem altijd uit dezelfde onderdelen opgebouwd wordt. Die keuze ligt bij de leverancier van het product. RAMS wordt bepaald door de producten waaruit het bestaat, dus door wie de producten maakt (aannemer en haar leveranciers). → in de bouw heb je grote afhankelijkheid van de bouwstenen (leveranciers)

Vuistregel: 2x beter kost 10x zoveel.

RAMS gaat fout door menselijke interpretatie ervan.

RAMS wordt niet bepaald door het systeem zelf, maar vooral door de weggebruiker. Ook verkeersregels.

Manier van hoe wij het verkeermanagen. Met een verkeersmanager in een verkeerscentrale die wegen af kan kruisen.

De RAMS prestatie van een snelwegsysteem wordt vooral door menselijke factoren bepaald, veel minder als door de spullen.

Waarom is de RAM prestatie van de A73 belabberd, en waarom gaat dat bij de A4 weer gebeuren?

We gaan software altijd ter plaatse nog een keer testen voordat we ze gaan gebruiken.

Er wordt heel veel redundantie ingebouwd. Als een sensor maar een betrouwbaarheid heeft van 50%, dan heeft het geen zin om 4 van die sensoren er neer te zetten. De betrouwbaarheid gaat hierdoor niet omhoog.

Omdat een sensor niet goed meet (iets wat we van te voren eigenlijk al wisten), welke onderdeel uitmaakt van een veiligheid gerelateerd systeem, sluiten we de tunnel af. Terwijl er helemaal niets aan de hand is. Nuicance failure. Hij gaat onterecht dicht. → de beschikbaarheid gaat sterk omlaag hierdoor.

Menselijke factoren

Ongeteste systemen →

In elkaar drukken ontwerptijd →

Niet heel goed nadenken over de oplossingen (kunnen wij mensen niet, tenzij er echt heel veel geld aan besteed wordt)

De 0/1 filosofie (binair denken) kan eigenlijk niet toegepast worden op veiligheid.

Bestaande situatie. We bouwen snelwegen nou eenmaal op de manier hoe we snelwegen bouwen.

→ We bouwen snelwegen eigenlijk altijd op dezelfde manier. Veel keuzes worden automatisch al gemaakt.

Wat we kunnen bouwen wordt niet bepaald door de overheid, maar door de markt. De overheid beslist niet opeens dat we nu LED verlichting toe moeten gaan passen. De markt die komt daarmee, en zegt dat dit beter is. Vervolgens gaat de overheid het voorschrijven.

Wij passen voor de beschikbaarheid en voor de veiligheid dezelfde principes toe, terwijl dat eigenlijk niet goed is. → redundantie goed bij systemen die de beschikbaarheid verhogen, nadelig bij veiligheid gerelateerde systemen, want dan gaat de beschikbaarheid snel achteruit.

Als we naar het hele snelwegsysteem kijken, dan zeg ik: laten we het fysieke gedeelte maar even liggen, want dat is goed genoeg. Human factor is belangrijk. Degene die het ontwerp, bediend en gebruikt.

Software

Ontwerpproces

Eigenlijk alle invloedsfactoren in de lijst hebben maar een beperkte invloed omdat het allemaal invloed heeft op een onderdeel van het fysieke gedeelte van het snelwegsysteem. Als we op snelwegsysteemniveau kijken, dan is die totale invloed maar erg klein. → invloed fysieke systeem op RAMS prestatie maar erg klein.

Omdat nooit 1 partij verantwoordelijk is voor het gehele systeem, krijg je dat de partijen de verantwoordelijkheid over de RAMS kwaliteit op elkaar af proberen te schuiven. Dan ga je alleen suboptimaliseren binnen je eigen gebiedje.

RAM is een objectieve meetmethode om verschillende ontwerpen/systemen met elkaar te vergelijken.

Op het moment dat we 1 tunnel maken die veilig is dat de bestaande tunnels. Dan zal de regelgeving zo aangepast worden, dat alle tunnels aan deze voorwaarden zullen moeten voldoen.

RAMS is een gefaseerde aanpak. Een aantal RAMS activiteiten die je in een bepaalde volgorde uitvoert. Als je deze volgorde aanhoud dan is de kans groter dat je systeem betrouwbaar, beschikbaar, onderhoudbaar en veilig is.

Voor leveranciers is dit veel belangrijker, omdat zij duizenden dezelfde producten maken die aan deze eisen moeten voldoen. Dit is veel minder van belang bij een product waar er maar 1 van wordt gemaakt, de snelweg.

Vergeet niet dat je in de wereld zit van de civiele ingenieurs, die denken alleen maar aan asfalt draaien. Die vinden dat er verder alleen maar moeilijk wordt gedaan.

Eisen moeten SMART zijn. Door toepassen van RAMS worden de eisen meetbaar. Objectieve kwaliteits meetbaarheid. → nut van RAMS

Doel van Rijkswaterstaat is met minder mensen het project runnen en er toch grip op blijven te houden. Hiervoor wordt o.a. RAMS gebruikt.

Rijkswaterstaat blijft verantwoordelijk, niet de aannemer. De aannemer moet eigenlijk alleen aantonen dat hij aan de gestelde eisen voldoet. Rijkswaterstaat stelt nog altijd de eisen op.

Technical betekend in het nederlands inhoudelijk.

De auto zelf heeft ook invloed op de RAMS prestatie van het systeem. De auto kan defect gaan, waardoor de weg afgesloten moet worden. (→ auto toevoegen aan invloedsfactor weggebruiker)

Nederland is helemaal volgebouwd. Alles wat we in Nederland doen op snelweggebied is vervanging. De A4DS en Parkstad zijn een paar van de laatste stukjes nieuwe snelweg in Nederland.

Belangrijk: Waar bestaat het systeem uit? Dit is heel belangrijk voor de RAMS prestatie. Het maakt nogal wat uit of het over component niveau gaat of op systeem niveau. Duidelijk afbakenen waar mijn onderzoek over gaat en dus ook waar het niet over gaat.

Het is belangrijk met welk bril je de tabel invult. Opdrachtgever of opdrachtnemer?

RAMS is van de aannemer. Hij zal straks iets aan moeten tonen, en ook de RAMS prestatie moeten waarmaken.

Uitwerking interview

Naam: Wim van de Lagemaat en Sjaak Lughtenberg
Organisatie: ARCADIS
Functie/expertise: Technische installatie, natte kunstwerken, tunnels, veel RAMS
Datum: 17 mei 2010
Tijdstip: 13:00u – 15:00u
Locatie: Rotterdam

Algemeen

Opdrachtgever wil hogere eisen stellen in de vorm van RAMS en laat het aan de markt over om hier oplossingen voor te verzinnen.

Rond Rotterdam gaat een tunnel elke dag even dicht als gevolg van hoogte detectie.

Calamiteiten oefeningen. Hierdoor is af en toe de tunnel een hele dag niet beschikbaar.

De helft van je niet-beschikbaarheid en onbetrouwbaarheid komt van menselijk falen, de andere helft van technisch falen (waarvan hier weer 80% door VTTI).

Verschil tussen “materiaalkeuze” en “ontwerpkwaliteit” is bij wegsystemen niet zo groot. Dit komt vaak overeen met elkaar.

Software: incrementeel updaten, duurt een paar uurtjes ‘s nachts.

Commentaar bij invloedsfactoren

I/C verhouding: Hoe drukker het is hoe gevaarlijker het is. Voorbeeld: File in de tunnel

Het opleidingsniveau van bedieningspersoneel valt vaak sterk tegen.

Aan een weg hoef je op zich niets te doen qua bediening, alleen veiligheidsprocedures.

Er moet eerder in het project rekening gehouden worden met veiligheidsprocedures, ook initiatief fase.

Als veiligheidsprocedure niet gevolgd wordt, terwijl er wel wat aan de hand is, dan heeft dit grote gevolgen. Dit is veel erger dan dat als er een veiligheidsprocedure onterecht in werking is getreden.

Informatie: Tunnelbediende, wegverkeersleider zijn hier erg van afhankelijk. Ze zijn afhankelijk van deze informatie, omdat ze dit niet zelf waar kunnen nemen, omdat ze er fysiek te ver van weg zitten.

Diensten door externe partijen (bediening): Zijn partijen wel of niet onderdeel van je systeem? Met brandweer ofzo, kun je van te voren afspraken maken.

Verandering Mission profile: Voorbeeld Maastunnel: Niet hoog genoeg, geen veiligheidsinstallaties. Het is niet mogelijk om deze tunnel te updaten naar de huidige eisen. Het resultaat is dat de maximum snelheid naar 50km/u is gezet. Er mogen tegenwoordig ook geen gevaarlijke stoffen meer doorheen, waar ze daar vroeger minder moeilijk over deden.

Overgang van ontwerp naar realisatie. Hier kan het wel eens schuren.

Bij A4DS: Omroep installatie in de tunnel mag niet gebruikt worden, want er wonen mensen naast.

In sommige gevallen bestaat er een niet-beschikbaarheidsmalus op tunnels. Bijv. in bij tunnels Rotterdam: 15.000 euro per kwartier.

RAMS: iedereen heeft er een mening over, maar niemand weet precies wat het inhoud. Er is een duidelijk verschil tussen de R, de A, de M en de S. Voor een leek is het 1 term die samen gepakt wordt.

Toevoegen invloedsfactoren

Externe invloeden: terroristische dreiging, waardoor de tunnel moet worden afgesloten (is 1x gebeurd tijdens de nasleep van 9/11).

Uitwerking interview

Naam: Jasper Schilder
Functie/expertise: Hoofd ontwerp
Organisatie: Dura Vermeer Beton en Waterbouw
Datum: 25 mei
Tijdstip: 14:00u – 16:15u
Locatie: Deurningen (GLD)

Algemeen

Een contractaannemer moet tegenwoordig zelf bewijzen dat ze aan de gestelde beschikbaarheid eisen voldoen bij ontwerp en de bouw van kunstwerken en delen van de weg doormiddel van een RAMS analyse.

Weet niet of er bij Rijkswaterstaat voldoende capaciteit en kennis is om die RAMS analyses te toetsen en controleren. (→ bijkomend probleem bij toepassen nieuwe werkwijze.)

Weet niet of het toepassen van RAMS een werkelijke bijdrage levert aan de kwaliteit van het eindproduct. Vakmanschap staat hoog in de orde. Niet alleen het wetenschappelijk bewijzen ervan. De uitvoering speelt hier altijd nog een grote rol in. (→ Sceptis bij marktpartijen)

Vaak zijn de RAMS experts binnen de snelweginfrastructuur afkomstig uit de elektrotechniek en werktuigbouw.

OTB is nog niet echt ver uitontworpen. Men bepaalt de plaats, afmetingen en enigszins de indeling. Al het engineering werk moet echter nog wel plaatsvinden.

Bij het aspect Onderhoudbaarheid (M) wordt gevraagd naar wat de kans op uitloop is (tijd), maar dit kan ook gelden voor de kosten.

De eisen worden gesteld tijdens het initiatief. Dit wordt uitgewerkt in het ontwerp, de precieze invulling vindt plaats tijdens de realisatie.

Commentaar bij invloedsfactoren

Ontwerpcapaciteit: Ontwerp je het systeem wel specifiek genoeg voor wat er gevraagd wordt. → wordt het snelwegsysteem specifiek voor een bepaald gebruik ontworpen? Of wordt er standaard voor 2 of 3 banen gekozen.

LCC: Vaak kun je met een relatief kleine investering de kwaliteit verhogen. Bijvoorbeeld ander materiaalgebruik om spoorvorming te voorkomen. Als spoorvorming optreedt, is eigenlijk de gehele fundering niet goed genoeg en moet dit vervangen of gerepareerd worden.

Materiaalkeuze: In de ontwerpfase kies je materialen, maar tijdens de uitvoering kies je vaak de leverancier. Deze bepaald vaak ook nog wel wat. De keuze van de (of voor een) leverancier heeft dus invloed op de kwaliteit. → De aannemer is weer afhankelijk van de producten die de leverancier kan aanbieden.

Onder wettelijke eisen en randvoorwaarden vallen ook wettelijke procedures in het voortraject. Ook politieke invloed (regering, gemeentes) doet er toe.

Politieke beslissingen: dat een richting voorgang heeft op een andere richting binnen het gehele snelwegsysteem. Voorkeursregeling dan bepaalde richtingen voorrang hebben om bijvoorbeeld sluipverkeer te voorkomen.

Scope van het project is soms niet precies duidelijk als het project begint (of opdracht binnen komt). Men weet nog niet wat men wil.

Omgeving van het systeem / diensten door derden: Waterschappen beheren het waterpijl. Het waterpijl beïnvloed het vorstvrije hoogte van de weg. Dit is van belang i.v.m. kapotvriezen van de weg.

Toevoegen invloedsfactoren

In 2002 is de Zuidtangent gerealiseerd. Dit HOV moest af zijn voordat de floriade van 2002 begon. Door de korte aanwezige tijd voor ontwerp en uitvoering is de kwaliteit minder geworden. Nu komt her en der versneld kwaliteitsverlies aan het licht.

Verkorte tijd van ontwerpproces

R hoog A hoog M hoog S heel laag. Invloed tijdens levensfases 30, 60, 10, 0.

Kwaliteit personeel opdrachtgevers

R hoog A hoog M hoog S laag. Invloed tijdens levensfases 30, 60, 10, 0.

Uitwerking interview

Naam: Martijn Blom

Organisatie: Rijkswaterstaat

Functie/expertise: Projectleider RAMS. Vooral bezig met RAMS bij bouwprojecten.

Datum: 28 mei

Tijdstip: 10:00u – 13:00u

Locatie: Utrecht

Algemeen

In de oude situatie bij RWS werd veel gedaan op basis van de expert opinion van de mensen die bij RWS werken.

RWS zit nu veel minder op de kennis component. De kennis is meer aanwezig bij aannemers en ingenieursbureaus. RWS moet nu op een abstracter niveau de projecten aansturen. Hier komt RAMS om de hoek kijken. Met RAMS kun je op een abstracter niveau aangeven wat je verwacht. Je kunt gewoon vragen om prestatie. Vanuit het feit dat RWS met een kleinere organisatie is gaan werken en vanuit haar nieuwe marktbenadering, komt RAMS vanzelf om de hoek kijken. Het is een methodiek waarmee je toch controle kunt houden op je project. RWS heeft gesteld dat ze voor de 3 netwerken die ze beheren RAMS willen invoeren. Wel daar waar het nuttig en nodig is. Ze hadden dus een flexibelere methodiek nodig als bij de primaire waterkeringen. Die was heel gedetailleerd en kwantitatief. Voor snelwegen is dit wellicht niet nodig, en misschien ook wel veel te duur. In dit kader heeft RWS de leidraad RAMS opgesteld. RAMS is een gedachtegoed, hoe je over systemen praat. Het maakt op zich niet zoveel uit of je het kwalitatief of kwantitatief doet. Als je hogere risico's hebt moet je het kwantitatief maken (getallen), bij lagere risico's kun je het kwalitatief invullen (experts). We staan met RAMS ook redelijk bij het begin bij RWS.

RAMS is een goede werkwijze om de kwaliteit objectief te monitoren. RAMS wordt echter nooit helemaal objectief; het zijn getalletjes waarmee gegoocheld kan worden. Je moet het niet verder verheerlijken dan dat het is, maar wij zijn wel altijd blij met informatie over onze systemen. Met die informatie kun je wat.

Veel stremming van een tunnel komt door onderhoud.

Het is wel de toekomst voor RWS om voor een stuk netwerk een prestatie-eis te stellen. En dat we niets meer over de deelsystemen zeggen. Het is dan aan de marktpartij om aan te tonen dat ze voldoen aan de prestatie-eis. Of ze dat dan doen door veel onderhoud te plegen, of door een betrouwbaar systeem te bouwen, maakt ons niet zoveel uit. Het liefst faseren we ons als overheid helemaal uit de bouwprojecten. "Hier is het boekje waar een snelweg aan moet voldoen in Nederland. Ik hoor wel wanneer het klaar is". Dit zou ideaal zijn voor de overheid. Hier zitten natuurlijk nog flink wat haken en ogen aan. We zullen hier dus een middenweg voor moeten vinden. Het wordt in ieder geval abstracter dan wat je tot nu toe gezien hebt, bijvoorbeeld in het COSMOS project.

RWS heeft nog niet echt een snelwegproject uitgevoerd met RAMS (nog geen echte gegevens hiervan dus), maar we hebben er wel een beeld bij hoe dat moet worden.

De RAMS prestatie waar je over praat is heel verschillend per systeem waar je over praat. Bij een waterkering praat je over promillen, terwijl dat bij een ander soort systeem wellicht procenten zijn. De getallen die jij hier toont zijn goed bruikbaar voor een snelwegsysteem.

Lijst met invloedsfactoren: Geen totaal overzicht van het de RAMS prestatie is opgebouwd, maar van verschillende kanten in de materie geprikt.

Is het positief voor de kwaliteit van het systeem als het ontwerp, bouw en beheer/onderhoud door één marktpartij wordt gedaan (of iig voor verantwoordelijk is)? Dat hangt er vanaf welke kwaliteit je eist. Veel dezelfde problemen zullen blijven bestaan (bijv. afstemming ontwerp en bouw).

Het netwerk denken is erg belangrijk als je over snelwegsystemen praat. Bij de ring van Amsterdam kun je bijv. zowel linksom als rechtsom rondrijden. Dat doet gigantisch veel voor de betrouwbaarheid op netwerkniveau. Advies → Meer op netwerkniveau kijken.

De taak van RWS is om het netwerk in een goede conditie te houden. Het is niet onze taak om ervoor te zorgen dat er geen files zijn.

Stel door files heb je een beschikbaarheid hebt van 95%. Wil je dan 95% beschikbaarheid voor een 100% goed technisch systeem, of wil je een technisch slecht systeem met een beschikbaarheid van 94,5%. Dat is het verschil tussen de 99,0% of de 99,8% die je eist.

Politiek / ministerie

Ik zie RAMS ook vooral als een informatie middel. Het is ook een goed instrument waarmee je varianten kan afwegen. Het probleem van nu is dat varianten voornamelijk op kosten worden afgewogen. Prestaties van het systeem moeten ook meegenomen worden. Wat we willen is een meer evenwichtig beeld krijgen.

We zitten bij RWS met gescheiden potjes. De regering bepaald of er nieuwe wegen worden aangelegd. Voor het onderhoud heeft RWS gewoon een standaard potje. Als je dan zegt: “voor 100 miljoen heb je een veel betere weg, die qua LCC minder gaat kosten”, dan krijg je dat dus niet voor elkaar. RWS zou meer verantwoordelijkheid willen, de politiek wil graag het budget kunnen blijven aansturen.

Commentaar bij invloedsfactoren

Vereiste kwaliteit eindproduct: Het is niet altijd zo dat wat ontworpen is (voorgeschreven in ontwerp) ook gebouwd wordt. Voorbeeld is een tweedehands damwand, waarvan je je voor kan stellen dat de kwaliteit minder kan zijn. Het is echter ook weer zo dat als je goed bouwt, maar slecht ontwerpt, de kwaliteit altijd slecht zal zijn. Ontwerp is dus maatgevend.

LCC: Als het budget lager is, zul je zien dat het vaker kapot gaat. Het is niet per definitie zo dat als je een stapje naar beneden gaat in kwaliteit, dit direct heel veel gevolgen heeft voor de beschikbaarheid. Dit komt door de logaritmische schaal. Een extra investering zal de beschikbaarheid maar een klein beetje verhogen. Bij verlagen is dit dan hetzelfde. De onderhoudbaarheid zal slechter worden, maar daar is wel een mouw aan te passen. Je gaat ook concessies doen aan de veiligheid. Je hebt wel bepaalde minimum eisen voor veiligheid natuurlijk, maar er kan wel op bezuinigd worden. Voorbeeld hiervan is het hergebruik van een viaduct zonder vluchtstroken. Sommige concessies mogen en sommige concessies mogen wettelijk gewoon niet.

Levensduur: RWS heeft te maken met projectleiders die denken dat de boel stopt als het bouwproject is afgelopen. Ze houden geen rekening met de gebruiksfase en dus ook niet met de onderhoudbaarheid. Dit gaat dus ten koste van de onderhoudbaarheid. Het telt best aan als je voor

veel kleine onderhoudswerkzaamheden de weg moet afsluiten. Dat telt dan best wel aan, als je daar niet goed rekening mee houdt.

Wettelijke eisen en randvoorwaarden: Vallen onder randvoorwaarden ook de normen van RWS zelf? Ja. Het is moeilijk om te bepalen hoe een weg eruit zou zien zonder deze randvoorwaarden, omdat ze dat niet kennen. Als we echter naar een weg in Afrika kijken, dan zie je dat dat toch hele andere wegen zijn. Het heeft dus wel een hoge invloed. Veel eisen zijn erop gericht om een minimale kwaliteit af te dwingen. Maar dingen als geluidsschermen kunnen weer een negatief effect hebben, want die moet je onderhouden.

Veiligheidseisen: Je maakt eigenlijk een keuze ten nadele van de beschikbaarheid. Je vind dan de veiligheid belangrijker dan de beschikbaarheid, want je sluit een weg af. Een invloedsfactor heeft dus invloed op de veiligheid, waardoor je de weg afsluit en het dan effect heeft op de beschikbaarheid.

Prestaties technische componenten: Binnen een snelwegsysteem heb je eigenlijk niet zoveel technische systemen. Dat concentreert zich vooral in een tunnel, maar daarna heb je weer 50km waar je bijna niets hebt. De invloed van technische componenten is niet zo groot als dat je in eerste instantie zou verwachten. Tijdens de bouw moet je alles nog in elkaar zetten, want je kunt geen complete tunnelsystemen kopen.

Geometrie van de weg: Een testproject gedaan bij de N11. Daar hebben we de aannemer heel veel vrijheid gegeven. Daar zie je dat de aannemer met alles op het minimum gaat zitten. Daar gebeuren nu ook veel ongelukken. Met je gezonde verstand zal je het bijv. niet verzinnen om het zo uit te voeren. Een scherpe bocht na een viaduct die je daardoor niet goed kunt zien. De weg voldoet wel aan de gestelde minimum eisen, maar is dus niet veilig gebouwd. Je moet je ook afvragen wat je krijgt, als je dit soort projecten op de laagste prijs aanbesteed.

Vervangbaarheid: We maken zelf best wel vaak keuzes: of we het in het werk maken, of dat we standaard componenten gebruiken. We kiezen ook vaak voor standaardcomponenten, omdat die eenvoudiger te vervangen zijn. Voorbeeld is een oplegging van een viaduct. Die moet je een keer in de zoveel tijd gewoon vervangen. Die kun je gewoon meestorten, maar ook gewoon los inzetbare componenten gebruiken. Dan kun je het dek gewoon optillen en de oplegging eenvoudig vervangen. Dit scheelt dus heel veel in beschikbaarheid.

Normen werken ook wel eens tegen RWS. Het geeft natuurlijk een minimale kwaliteit aan, maar er wordt vaak ook erg op gestuurd, waardoor de kwaliteit nooit veel hoger zal zijn dan de norm.

Complexiteit van het systeem: Dat is een beetje een paradox. Door veiligheidseisen wordt het systeem meer complex, maar door de verhoogde complexiteit wordt het ook minder veilig.

Software: Het onterecht afkruisen van een weg (door softwarefout) is voor een snelweg niet zo erg als een vergelijkbaar systeem bij een brug of stormvloedkering. Bij een weg kan een agent alsnog de weg vrijgeven voor verkeer. Een tunnel die open staat of een kering die dicht gaat (als dat eigenlijk niet hoeft) kun je niet zomaar vrijgeven.

We vinden het in heel erg als er een ongeluk gebeurt in een tunnel. Er gelden hele strenge veiligheidseisen. Maar als een stuk buiten de tunnel iemand een ongeluk krijgt, accepteren we dat veel sneller. In tunnels is het echter wel zo dat als het fout gaat er een hele boel mensen kunnen dood gaan. Je zult dus na moeten gaan of je maatregelen die je treft vooral voor groepen mensen gelden of alleen voor het individu. Er is discussie bij RWS of we zoveel extra moeite (geld) moeten steken om dat ongeval met dat individu tegen te gaan in een tunnel, terwijl we net buiten de tunnel er niet zoveel aan doen.

Het is terecht dat we nu de tunnel afsluiten als een camera of een sensor niet werkt. Als we eerst moeten gaan kijken, wat tijd kost, dan lopen de mensen in de tunnel (als er een calamiteit is) veel gevaar, door de snelle rookontwikkeling of temperatuurstijging. Dit is veel gevaarlijker in een tunnel als daarbuiten.

Bouw van het systeem: Wat wij vaak tegenkomen is dat op zich de juiste installaties wel in de tunnel komen, maar dat tijdens de bouw ze net even te lang buiten liggen, zodat ze schade oplopen (regenschade, roest). Bij sommige gevoelige componenten is het niet zo handig dat er van die rouwdouwers (bouwvakkers red.) mee om gaan, want ze zijn minder voorzichtig.

Omgeving van het systeem: Heeft zowel invloed tijdens het ontwerp als tijdens het gebruik. Het hangt er vanaf of je er rekening mee kunt houden of niet.

Belasting voertuigen: Het is een feit dat de belasting van de voertuigen op onze wegen hoger is dan waar we mee rekenen.

Als je kijkt waarom je in de file staat dan is dat 9 van de 10 keer als gevolg van een ongeluk of filevorming. 1 van de 10 keer om dat er onderhoud wordt uitgevoerd.

We kijken heel erg naar de technische kant van het systeem; wanneer gaat het stuk. Maar als je dit vergelijkt met de rest, dan is het eigenlijk nihil.

Bij incidenten is het zo dat in 99% van de gevallen er alleen blikshade is. Op het moment dat de hulpdiensten arriveren op de plek van het onheil, dan is de stremming ook voorbij. Er gebeuren maar heel weinig secundaire ongelukken.

Toevoegen invloedsfactoren

Files zijn heel belangrijk voor de betrouwbaarheid van de reistijd.

Uitwerking interview

Naam: Steef de Koning

Organisatie: Breijn, het ontwerpbureau van Heijmans

Functie/expertise: Sinds 6 maanden ontwerpleider, daarvoor 17 jaar bij beton en waterbouw, vooral betrokken bij bouw van kunstwerken.

Datum: 2 juni 2010

Tijdstip: 14:00u – 16:45u

Locatie: Rosmalen

Commentaar bij invloedsfactoren

Bij de N48 waren er RAM eisen gesteld in de VS2. Geen RAM eisen in VS1.

Bij externe partijen denk ik bijv. aan waterschap, kabels en leidingen, scheepvaart.

De onderhoudsstrategie heeft veel invloed op de beschikbaarheid. Het gaat er vooral om hoeveel onderhoud je tegelijk kunt uitvoeren. Prestatie onafhankelijk onderhoud. Ook alvast onderdelen vervangen die nog prima werken, zodat je over een tijdje niet weer de weg op moet.

Mensen die het systeem bedienen hebben invloed op de veiligheid, omdat ze moeten reageren op signalen. Door hun manier van handelen beïnvloeden ze ook de beschikbaarheid en betrouwbaarheid. Personeel moet 2-3 maanden voor de oplevering getraind worden en kennis krijgen van het systeem (Sluiskil).

Voor de tunnel bij de A73 moet je bij informatie invullen invloed zeer zeer hoog.

Scopewijzigingen die tijdens de realisatiefase plaatsvinden, beïnvloeden de kwaliteit van het systeem wel. Op basis van dat je iets aan het bouwen bent, wat de opdrachtgever eigenlijk niet meer wil hebben. Je hebt niet de goede basis gelegd (fysiek) en dit beïnvloed de betrouwbaarheid en beschikbaarheid.

Ik ontwerp een situatie waarop de weggebruikers gaan reageren. Met het ontwerp kun je dus de manier hoe weggebruikers handelen veranderen. Toch blijft de weggebruiker zelf een bron van falen (hij let niet op, valt in slaap enz.).

Materiaalkeuze: Je maakt een keuze tussen materialen, maar het moet altijd aan de veiligheidseisen voldoen. Het heeft dus niet zoveel invloed op de veiligheid.

Van asfalt weten we hoe het zich gedraagt. Van de technische componenten zijn deze gegevens gewoon beschikbaar. De leverancier kan precies vertellen wat de faalkans. Ik zou zeggen dat dit goed onder controle is. Ik ken de eigenschappen waaraan het systeem moet voldoen. Op basis daarvan, kies ik ervoor om bijv. 2 pompen in de kelder te installeren (want 1 pomp voldoet niet aan de RAMS-eis). Daarna hebben de componenten toch geen invloed meer op de RAMS prestatie? In de praktijk kan dan alleen de RAMS prestatie tegenvallen.

Interviewer: "De installaties zorgen voor een bepaalde niet-betrouwbaarheid en niet-beschikbaarheid binnen het systeem. Het maakt deel uit van het systeem."

Als er niks in zit, dan is mijn beschikbaarheid groter, dan als er wel een tunnel met al die installaties in zit. De installaties beïnvloeden dus de RAMS prestatie van het systeem.

Leveranciers / aantal leveranciers: Die is laag, omdat ik denk dat de eigenschappen van die producten bekend zijn. Binnen redelijke marges ook betrouwbaar. Als ik om een bepaalde RAMS prestatie te halen een pomp moet kiezen, dan weet ik al dat er een paar leveranciers afvallen, omdat zij zo'n pomp niet kunnen leveren.

Bij de Sluiskil tunnel heeft RWS de tunneldoorsnede bepaald. Op basis van de vrije ruimte onder de weg. Hebben ze een zo klein mogelijke tunneldoorsnede gegeven. Daar moet je het dan mee doen. Binnen die ruimte die nog over is moeten alle installaties gemaakt worden. Dan kun je niet eisen dat het profiel 100% beschikbaar moet zijn. Je hebt immers geen ruimte om bijv. onderhoud uit te voeren. De tunnel zal dan af en toe dicht moeten voor onderhoudswerkzaamheden. RWS doet dit omdat het op zoek is naar afbakening en kostenbesparingen.

We hebben in Nederland te maken met planologische procedures. Als die buis groter wordt moet je rekening houden met de gronddekking t.o.v. de kanaalbodem. Als die groter wordt, moet het ook dieper worden aangelegd. Je komt dan ook pas verderop boven de grond. Je moet dus veel meer grond gaan aankopen. Nederland is eigenlijk te klein van Design & Construct. Je loopt altijd wel ergens tegenaan. Er zijn zoveel randvoorwaarden waaraan je moet voldoen. We moeten het dan maar gewoon accepteren dat de tunnel niet 100% beschikbaar is.

Geometrie: Ook hierbij zijn we gebonden aan regels en richtlijnen.

Menselijke invloed op het ontwerpproces: We werken natuurlijk wel met kwaliteitssystemen waarin dingen geverifieerd worden intern. Ook extern nog een keer door de opdrachtgever. Mijn ervaring is niet dat menselijk fouten een vreselijke invloed hebben op de RAMS prestatie.

Software: Bij snelweginfrastructuur behoorlijk actueel. Als er iets mis is met de software is dat behoorlijk beroerd. Het komt echter niet zo vaak voor. Toch lastig, als het niet goed zit, ben je meteen een dag kwijt.

Als er een fout gevonden is, dan wordt dat verbeterd. Daarmee neemt de betrouwbaarheid natuurlijk verder toe.

Je bouwt een weg niet zodat het nog net voldoende is / minimaal voldoet aan de eisen. Als er dan iets even niet zou kloppen kom je meteen in de problemen. Een weg die opgeleverd wordt heeft eigenlijk veel extra kwaliteit in zich. Vaak ga je over de kwaliteitseisen van kunstwerken heen.

Omgeving: Het enige wat je kan doen is om in je initiatief en ontwerpfase er zo goed mogelijk op te anticiperen. Je zou eventueel zelfs aan een overkapping kunnen denken als er erg veel overlast is van neerslag. Dit zie je bijv. in de Alpen om sneeuw niet op de weg te laten vallen. Ik vind eigenlijk dat de omgeving geen invloed moet hebben op de RAMS prestatie, daar moet je dan maar rekening mee houden in het ontwerp.

Budget/LCC: Er wordt het eerst bezuinigd op onderhoud. Hierdoor zullen uiteindelijk wel de onderhoudskosten groter worden.

Naar mijn mening kun je heel veel invloedsfactoren beheersen. Maar als je kijkt, bij een beetje complex proces heb je zoveel randvoorwaarden en invloedsfactoren, dat dan niet in voldoende mate valt te beheersen. Dit heeft invloed op de RAMS prestatie van het systeem.

RAMS prestatie verbeteren

Hoe kan de RAMS prestatie verbeterd worden?

Beheersing van het ontwerpproces. Een element daarin is risico management. Dat maakt dat je risico's inventariseert en daar maatregelen voor neemt. Als je geen rekening houdt met een invloedsfactor in je ontwerpproces, dan blijft de invloed van die factor groot. En gaat ten koste van je RAMS prestatie. Eigenlijk is het de kunst om voor elke negatieve invloedsfactor een beheersmaatregel te verzinnen in je ontwerpproces.

Uitwerking interview

Naam: Gerard Broekstra

Organisatie: DHV

Functie/expertise: 18 jaar ervaring met allerlei facetten binnen de wegenbouw en onderhoud.

Datum: 3 juni 2010

Tijdstip: 8:30u – 10:00u

Locatie: Amersfoort

Commentaar op invloedsfactoren

Hoe hoger de capaciteit van de weg, hoe meer ruimte er is voor het uitvoeren van onderhoud. Er kan makkelijker een rijbaan afgesloten worden, zodat het verkeer er minder hinder van ondervindt. Positieve invloed op de onderhoudbaarheid en wellicht ook beschikbaarheid.

Overdimensioneren is meestal minder veilig. Het is veiliger om een ontwerp te maken wat aansluit op de capaciteit. Voorbeeld hierbij is de turbotronde die minder veilig is bij minder verkeer.

LCC: Je levert niet in op kwaliteit en veiligheid. Er wordt voornamelijk ingeleverd op franjes. Kunstwerken soberder en doelmatiger uitvoeren. Wel iets mindere kwaliteit (iets minder dik asfalt bijv.). Onderhoud blijft voorspelbaar, omdat je de kwaliteit goed in de kaart hebt. Het gaat wel iets ten koste van de beschikbaarheid, omdat je vaker onderhoud uit zal moeten voeren.

Ontwerplevensduur systeem: In de tijd zal de kwaliteit van het systeem afnemen. Vaker reparaties uitvoeren etc.

Veiligheidseisen hebben een hoog positief effect op de veiligheid.

Geometrie heeft in principe geen invloed op de betrouwbaarheid en beschikbaarheid. Draagt wel iets bij aan de onderhoudbaarheid. Draagt zeker wel bij aan de onveiligheid. Al die dingen beïnvloeden de veiligheid negatief.

Uitwerking interview

Naam: Jan van der Ven
Functie/expertise: Ontwerp

Naam: Willem van Ooijen
Functie/expertise: Disciplineleider dynamisch verkeersmanagementsystemen. Alle elektrotechnisch installaties op de weg. Verwerving van opdrachten.

Naam: Harm Heijmans
Functie/expertise: Ontwerper

Organisatie: Heijmans
Datum: 4 juni 2010
Tijdstip: 15:15 – 16:45u
Locatie: Rosmalen

Algemeen

Doorstroming van het verkeer is het meest van belang. Hoe verhoud zich dit tot RAMS.[vOoijen]
RAMS sluit niet aan op de doelstellingen van RWS. Een extreem hoge availability is zinloos. Als 's nachts de weg een tijdje 2 rijstroken dicht doet zou zijn heeft bijna niemand daar last van. Ik zie dat in DBFM contracten bijna 100% beschikbaarheid wordt geëist. Dit is echter helemaal geen issue, omdat 's nachts niemand gebruik maakt van die weg. [vdVen]
Momentane beschikbaarheid praat je dan over. Die RAMS prestatie is maar op bepaalde momenten heel belangrijk. [vOoijen]
Geplande onbeschikbaarheid is geen issue. Onverwachte onbeschikbaarheid is het probleem. [vdVen]
Beschikbaarheid is heel erg belangrijk als je over snelwegen praat. De R en de M zijn van ongeschikt belang. Bij M is volgens ons alleen van belang: is het planbaar of niet-planbaar onderhoud. [vOoijen]

Commentaar op invloedsfactoren

LCC: Bij meer geld kun je zaken redundant uitvoeren en gaat je betrouwbaarheid en beschikbaarheid omhoog.

Ontwerpteam: Een goed of een slecht ontwerpteam maakt heel veel uit in de kwaliteit die je uiteindelijk krijgt. Als er al rekening gehouden wordt met de onderhoudbaarheid, gaat het beter. [vOoijen, vdVen]

De mens als invloedsfactor is het grootst. Want de mens maakt fouten. De ontwerptijd en kosten heeft veel invloed op de kwaliteit van het systeem. [vOoijen]

Voor de A15/A12 hebben we dat heel uitgebreid bekeken. Als je gaat kijken naar de RAMS is mijn conclusie daarvan. De beschikbaarheid is eigenlijk niet zo belangrijk. Het gaat om de reliability. Faalmechnismen hebben we uitgezocht en geranked. We hebben een wegingsfactor gegeven voor als iets voorspelbaar is of niet-voorspelbaar is. Dit heeft met name te maken met dat wij RAMS

gebruiken om hinder te bepalen. Wat belangrijk is is de voorspelbaarheid van de niet-beschikbaarheid.

Mijn gevoel is dat niet onderhoud maar storingen de meeste niet-beschikbaarheid veroorzaakt. Dat zijn dan vooral verstoringen door de omgeving, voornamelijk de weggebruiker zelf.

Waar moet je dan dus op sturen? Op het voorkomen van onverwachte storingen binnen je systeem. Een hoge veiligheid is dan dus ook goed voor de beschikbaarheid. [vdVen]

Eigenlijk zou je een voorspelbaarheid bij je RAMS moeten hebben. [vOoijen]

60% van de kwaliteit wordt bepaald in de ontwerpfase, 30% tijdens de bouw en 10% daarna. [vdVen]

Bij de bouw van het systeem wordt de kwaliteit ervan beïnvloed. Er is een bepaald bandbreedte. Het maakt nogal wat uit of het asfalt in de vrieskou gelegd is of met perfecte omstandigheden. [Heijmans]

Onderhoudsomstandigheden: Weersomstandigheden beïnvloeden de kwaliteit. Kun je het in 1 keer uitvoeren of mag je telkens maar 1 rijstrookje 's nachts in de regen doen. [allen]

Menselijke impact op het ontwerpproces: Mensen maken het werk.

Verandering "Mission profile" = wijziging functioneel gebruik.

Diensten door externe partijen: bijv. gladheidsbestrijding, kabels en leidingen.

Toevoegen invloedsfactoren

Registratie en bijhouden storingsanalyse: HH, H, H, H

Als je het goed bijhoud, dan kun je daar ook op sturen.

Technologische ontwikkelingen: H, H, H, H

Als je een systeem 20 jaar in onderhoud hebt. Kun je wel eens nieuwe materialen krijgen, waardoor het eenvoudiger wordt om aan de eisen te voldoen. Met je ondernemerschap (gokken) speel je hier een beetje op in.

Bijlage 5F

Statistische analyse

		STATISTISCHE ANALYSE	gemiddeld				% "middel" of hoger			
nr.		invloedsfactoren	R	A	M	S	R	A	M	S
	groep	systeemeigenschappen								
	groep	het ontwerp								
	groep	specificaties								
1		vereiste kwaliteit eindproduct	3,44	3,78	2,67	3,22	0,67	0,78	0,33	0,56
2		ontwerpcapaciteit	1,67	2,67	1,89	2,11	0	0,33	0,11	0,11
3		life cycle costs	3,4	3,8	2,8	2,8	0,7	0,6	0,4	0,3
4		levensduur	2,44	2,67	2,33	2	0,11	0,22	0,22	0,22
5		wettelijke eisen en randvoorwaarden	2,44	2,56	3,11	1,67	0,33	0,33	0,33	0,11
6		veiligheidseisen	2,8	4	2,7	4,8	0,3	0,7	0,3	1
7		scope wijzigingen	2,86	3	2,86	3	0,43	0,43	0,29	0,29
	groep	ontwerpkeuzes								
8		materiaalkeuze	4,2	4	2,6	2,2	0,8	0,8	0,2	0
9		duurzaamheid	2,2	2,1	2,2	2,2	0,1	0,1	0,1	0,1
10		prestaties technische componenten en installaties	3,6	3,1	2,7	3	0,7	0,3	0,4	0,2
11		productleveranciers	3	2,83	2,83	2,33	0,5	0,33	0,33	0
12		geometrie van de weg	1,7	2,1	2,4	3,9	0,1	0,2	0,3	0,7
13		vervangbaarheid en modularisering	1,8	3,5	4	2,1	0	0,7	0,7	0,1
14		menselijke impact op het ontwerpproces	3,1	3,5	3,9	3	0,4	0,4	0,7	0,5
15		complexiteit van het systeem	3,5	4,1	3,7	4	0,6	1	0,7	0,7
16		software	3	3,4	2,7	3,4	0,5	0,5	0,4	0,5
17		bouw van het systeem	2,78	2,78	2,44	2,44	0,22	0,33	0,11	0,11
18		omgeving van het systeem	2,5	2,9	3,1	3,5	0,3	0,5	0,3	0,5
	groep	exploitatie eigenschappen								
	groep	gebruiksomstandigheden								
19		gebruiksintensiteit en I/C verhouding	2,6	2,4	2,9	3,6	0,3	0,3	0,5	0,6
20		belasting voertuigen	3,1	3,1	2,8	2	0,4	0,2	0,2	0,1
21		weggebruikers / incidenten	4,2	3,9	2,4	3,9	0,8	0,5	0,1	0,7
22		incidenten afhandeling	3,4	3,4	2,8	3,3	0,7	0,6	0,3	0,6
	groep	bedieningsomstandigheden								
23		bedieningspersoneel	3,4	3	2,2	3,6	0,5	0,4	0,1	0,5
24		bedienings- en veiligheidsprocedures	2,9	3,4	2,7	3,9	0,4	0,5	0,1	0,8
25		informatie	3,5	3,1	2,7	3,3	0,5	0,3	0,2	0,6
26		diensten door externe partijen	1,7	2,2	1,7	2,4	0	0	0	0,2
27		verandering "Mission profile"	2,5	2,75	2,38	3,5	0,25	0,38	0,25	0,63
	groep	onderhoudsomstandigheden								
28		onderhoudsstrategie, specificaties en procedures	2,9	3,7	4	2,6	0,5	0,8	0,8	0,3
	groep	uitvoering onderhoud								
29		defecten door onderhoudswerkzaamheden	2,78	3,33	2,22	2,56	0,33	0,67	0,22	0,11
30		tijd benodigd voor uitvoeren onderhoud	1,67	3,22	3,44	1,67	0	0,33	0,56	0
31		testen	3,11	3,33	2,44	3,56	0,56	0,56	0,33	0,78
32		onderhoudsomgeving	1,89	2,33	3,78	3,67	0,11	0,11	0,67	0,67
33		onderhoudspersoneel	2,44	2,89	3	2,33	0,22	0,33	0,33	0,33
34		onderhoudsfaciliteiten	2,11	3,44	3,22	2,22	0,11	0,56	0,44	0,22
35		onderhoud aan veiligheidssysteem en veiligheid gerelateerde faalmodus	2	3,56	2,56	3,33	0	0,56	0,22	0,67
36		veiligheidsvoorschriften	2,22	2,67	2,78	3,44	0,11	0,33	0,11	0,67
37		diensten door externe partijen	2,33	2,89	2,67	2,11	0,22	0,44	0,33	0,11

		STATISTISCHE ANALYSE	variantie			
nr.		invloedsfactoren	R	A	M	S
	groep	systeemeigenschappen				
	groep	het ontwerp				
	groep	specificaties				
1		vereiste kwaliteit eindproduct	2,6	0,9	1,8	2,7
2		ontwerpcapaciteit	0,8	1,4	1,1	1,3
3		life cycle costs	1,3	0,8	2	1,9
4		levensduur	1,1	1,1	1,4	1,8
5		wettelijke eisen en randvoorwaarden	2,3	1,4	1,3	1,1
6		veiligheidseisen	1,5	1,3	1,1	1,8
7		scope wijzigingen	2,1	1,8	1,5	1,8
	groep	ontwerpkeuzes				
8		materiaalkeuze	0,7	1,5	0,9	0,9
9		duurzaamheid	1,3	1,3	1	1,1
10		prestaties technische componenten en installaties	1	0,5	1,4	0,8
11		productleveranciers	1,6	1,4	1,4	0,8
12		geometrie van de weg	1,2	2,2	1,3	1,8
13		vervangbaarheid en modularisering	0,9	1,5	1,9	1,3
14		menselijke impact op het ontwerpproces	1,8	1	1,4	2,6
15		complexiteit van het systeem	1,7	0,1	0,8	1,5
16		software	1,2	1	1,4	2,4
17		bouw van het systeem	2,3	1	1,4	1
18		omgeving van het systeem	1,5	1,6	1,1	1,4
	groep	exploitatie eigenschappen				
	groep	gebruiksomstandigheden				
19		gebruiksintensiteit en I/C verhouding	1,2	2,2	1,4	1,7
20		belasting voertuigen	1,2	1	0,8	1
21		weggebruikers / incidenten	1,1	0,9	0,8	2,5
22		incidenten afhandeling	1,8	1,3	1	2,1
	groep	bedieningsomstandigheden				
23		bedieningspersoneel	0,5	0,9	0,8	1,5
24		bedienings- en veiligheidsprocedures	1,1	0,6	0,4	2
25		informatie	0,8	0,4	0,8	2,1
26		diensten door externe partijen	0,7	1,2	0,7	1,3
27		verandering "Mission profile"	2,2	2,9	1,6	1,8
	groep	onderhoudsomstandigheden				
28		onderhoudsstrategie, specificaties en procedures	1,4	1,4	1,6	1,5
	groep	uitvoering onderhoud				
29		defecten door onderhoudswerkzaamheden	1,7	1,6	1,4	1,7
30		tijd benodigd voor uitvoeren onderhoud	0,8	1,1	1,9	0,8
31		testen	2,3	1,4	1,7	2,4
32		onderhoudsomgeving	0,9	0,9	2,3	2
33		onderhoudspersoneel	2	1,4	1,6	1,7
34		onderhoudsfaciliteiten	1,9	1,4	2,3	1,6
35		onderhoud aan veiligheidssysteem en veiligheid gerelateerde faalmodus	0,7	1,7	2,5	2,9
36		veiligheidsvoorschriften	0,8	1,3	0,5	2,3
37		diensten door externe partijen	2,3	1,6	1,4	1,4

		STATISTISCHE ANALYSE	Levenscyclusfasen			
nr.		invloedsfactoren	initiatief	ontwerp	realisatie	gebruik
	groep	systeemeigenschappen				
	groep	het ontwerp				
	groep	specificaties				
1		vereiste kwaliteit eindproduct	0,22	0,61	0,17	0
2		ontwerpcapaciteit	0,39	0,55	0,01	0,06
3		life cycle costs	0,3	0,64	0,04	0,02
4		levensduur	0,23	0,58	0,04	0,15
5		wettelijke eisen en randvoorwaarden	0,36	0,48	0,06	0,1
6		veiligheidseisen	0,25	0,51	0,14	0,07
7		scope wijzigingen	0,06	0,36	0,44	0,14
	groep	ontwerpkeuzes				
8		materiaalkeuze	0,18	0,76	0,07	0
9		duurzaamheid	0,18	0,56	0,08	0,18
10		prestaties technische componenten en installaties	0	0,59	0,17	0,25
11		productleveranciers	0	0,5	0,4	0,1
12		geometrie van de weg	0,23	0,77	0	0
13		vervangbaarheid en modularisering	0,11	0,71	0,08	0,09
14		menselijke impact op het ontwerpproces	0,23	0,77	0,02	0
15		complexiteit van het systeem	0,38	0,35	0,23	0,05
16		software	0,03	0,62	0,29	0,07
17		bouw van het systeem	0	0,06	0,94	0
18		omgeving van het systeem	0,15	0,39	0,03	0,44
	groep	exploitatie eigenschappen				
	groep	gebruiksomstandigheden				
19		gebruiksintensiteit en I/C verhouding	0,06	0,17	0,02	0,76
20		belasting voertuigen	0	0,23	0	0,77
21		weggebruikers / incidenten	0	0,15	0	0,85
22		incidenten afhandeling	0	0,13	0,03	0,84
	groep	bedieningsomstandigheden				
23		bedieningspersoneel	0	0,24	0,04	0,72
24		bedienings- en veiligheidsprocedures	0,12	0,24	0,01	0,64
25		informatie	0,11	0,42	0,03	0,43
26		diensten door externe partijen	0,03	0,2	0,16	0,61
27		verandering "Mission profile"	0,1	0,11	0,01	0,78
	groep	onderhoudsomstandigheden				
28		onderhoudsstrategie, specificaties en procedures	0,08	0,39	0,08	0,44
	groep	uitvoering onderhoud				
29		defecten door onderhoudswerkzaamheden	0	0	0	1
30		tijd benodigd voor uitvoeren onderhoud	0	0,13	0,11	0,76
31		testen	0	0,11	0,17	0,72
32		onderhoudsomgeving	0,11	0,06	0	0,83
33		onderhoudspersoneel	0	0	0,11	0,89
34		onderhoudsfaciliteiten	0	0,06	0,11	0,83
35		onderhoud aan veiligheidssysteem en veiligheid gerelateerde faalmodus	0,11	0,08	0	0,81
36		veiligheidsvoorschriften	0,14	0,06	0	0,81
37		diensten door externe partijen	0,14	0	0	0,86

Bijlage 6A

Informatiedocument Design Workshop A4DS

Aan de hand van een PowerPoint presentatie worden de stappen van de workshop doorlopen.

Datum: dinsdag 6 juli

Tijd: 13:00u – 16:00u

Locatie: ARCADIS Rotterdam

Workshopleider: Pieter Tiemessen

Participanten/Experts (achtergrond):

Henk Visser (wegen)

Ben van den Horn (veiligheid)

Wim van de Lagemaat (tunnels)

Experts hebben meegewerkt aan het RAM plan of het IVP voor de A4DS.

Welkom

Bedanken voor jullie aanwezigheid en medewerking. Ondanks de drukke dagen voor de vakantieperiode, hebben jullie toch tijd vrijgemaakt. Zonder gesprekken met mensen uit de praktijk is het niet mogelijk om dit onderzoek voor ARCADIS uit te voeren.

Omschrijving onderzoek

Centrale onderzoeksvraag: (1) Welke factoren hebben de grootste invloed op de RAMS prestatie van een snelwegsysteem en (2) hoe en wanneer dienen deze gemanaged/beïnvloed te worden om deze prestatie te verbeteren? (mogelijke maatregelen)

(1) Door literatuurstudie en interviews met experts →

Generieke factoren met grootste invloed op de RAMS aspecten van een snelwegsysteem.

(2) Door literatuurstudie en deze workshop →

Hoe en wanneer dienen deze invloedsfactoren gemanaged/beïnvloed te worden om de RAMS prestatie van een snelwegsysteem te verbeteren.

Case study design workshop

Een **case study** is een onderzoeksmethode gebaseerd op een diepte onderzoek van een enkele case (in dit geval het project A4DS).

Een **design workshop** heeft tot doel het vinden van oplossingen (ontwerpen) door het actief deelnemen door de participanten.

Doel van deze workshop

- Generieke invloedsfactoren toetsen voor case A4DS.
- Maatregelen ontwerpen specifiek voor de case A4DS.

De participanten gaan over de mogelijke antwoorden op de vragen met elkaar in discussie, zodat de materie van verschillende oogpunten wordt belicht. Wanneer de participanten het eens worden met elkaar (consensus), kunnen we van een gebalanceerd antwoord spreken.

A4DS

Een actueel en belangrijk project voor Rijkswaterstaat op dit moment is de realisatie van de A4 tussen Delft en Schiedam (A4DS). Het 8 km lange stuk snelweg wat aangelegd moet gaan worden, zal gaan bestaan uit een gedeelte open weg, een gedeelte verdiepte ligging (open bak) en een gedeelte tunnel. Het project zal aanbesteed worden in de vorm van een Design & Construct (D&C) contract. Na afloop van de realisatiefase komt de snelweg weer in handen van Rijkswaterstaat. Zij is vervolgens verantwoordelijk voor het beheer en onderhoud. Rijkswaterstaat heeft besloten de RAMS methode toe te gaan passen op het A4DS project.

Afbakening

Er zal specifiek naar het systeem A4DS gekeken worden. Dit zal echter wel op systeem niveau gebeuren. Hieronder valt dus alles wat de RAMS prestatie van dit stuk snelweg kan beïnvloeden (fysieke systeem, weggebruikers, verkeersmanager etc.).

Vanuit welk oogpunt (partij) moet er naar de prestatie gekeken worden? →

Op systeem niveau, dus eigenlijk boven alle partijen. Meerdere partijen zijn in de huidige situatie (gedeeltelijk) verantwoordelijk voor de RAMS prestatie van het systeem (politiek, Rijkswaterstaat, verkeerscentrale, ingenieursbureau, aannemer etc.).

Werkwijze

Elke invloedsfactor apart behandelen (15 á 20 minuten per invloedsfactor). De invloedsfactoren met de meeste invloed zullen behandeld worden (top 9 generieke invloedsfactoren).

Stap 1:

In hoeverre zijn de generieke invloedsfactoren ook van belang in dit specifieke project? (is het belangrijk)

Experts (individueel): Experts geven individueel aan voor de invloedsfactor hoe hoog haar invloed is op de toekomstige RAMS prestatie van de A4DS. **Invulschema van expert**

Workshopleider: Terugkoppeling resultaten. In hoeverre komt dit overeenkomt met de generieke invloed? **Noteren op flapover**

Experts (centraal): Verklaring overeenkomsten en verschillen. Wellicht bestaan er projectspecifieke kenmerken. **Zelf noteren**

Stap 2:

Experts (centraal): Wordt met deze invloedsfactoren rekening gehouden? (wordt het meegenomen)

Wat wordt er in dit project al aan gedaan? **Zelf noteren**

Stap 3:

Wat zou je er aan kunnen doen specifiek in dit project?

Hoe kunnen we deze invloedsfactor zo managen/beïnvloeden of beheersen, dat de RAMS prestatie van het snelwegsysteem zal verbeteren.

Experts (centraal): Gezamenlijke brainstorm **Noteren op flapover**

Experts (centraal): Uitwerken mogelijke oplossing(en) **Zelf noteren**

Hoe invloed managen?

Wanneer invloed managen? (levensfase)

Hoe groot is de mogelijke invloed hiervan? (wordt invloed van invloedsfactor op de RAMS prestatie hierdoor minder)

Wat is de invloed hiervan op de andere RAMS aspecten?

Wat zijn de kosten hiervan?

Laag = altijd doen

Middel = goede afweging maken

Hoog = in verhouding te duur

Buitenproportioneel

Tijdsindeling

Aanvang: 13:00u

Inleiding: 20 min

Workshop: 9x 20 min = 3 uur

Per invloedsfactor: 20 min

Omschrijving invloedsfactor: 1 min

Individueel aangeven invloed: 3 min

Terugkoppeling resultaten: 1 min

Overeenkomst en afwijking van generieke invloed vaststellen: 1 min

Verklaring overeenkomsten en verschillen: 4 min

Bestaande beheersmaatregelen: 3 min

Centrale brainstorm: 3 min

Uitwerking resultaten: 4 min

Afsluiting: 5 min

Verwachte eindtijd: 16:20u

Informatie in bijlagen

- Definities RAMS aspecten en invloedsniveaus
- Beschrijving top 9 generieke invloedsfactoren
- Invulschema

Bijlage 6B

In deze bijlage wordt beschreven: De uitwerking werkwijze workshop en inzichten voortkomend uit de workshop.

Algemene informatie workshop

De onderzoeker heeft zich op verschillende manieren verdiept in project:

- Door het lezen van projectdocumentatie van de A4 (o.a. MER studie, Vraagspecificatie 1 & 2)
- Het bijwonen van vergaderingen tussen ARCADIS en RWS over het schrijven van een RAM plan voor de A4DS
- Gesprekken met medewerkers van ARCADIS die betrokken zijn bij het project van de A4DS

De casestudy heeft twee doelen:

1. Toetsen van de belangrijkste generieke invloedsfactoren op de A4DS en een verklaring vinden voor mogelijke verschillen.
2. Mogelijkheden vinden over hoe en wanneer deze invloedsfactoren gemanaged kunnen worden om de RAMS prestatie van het systeem te verbeteren.

Om er voor te zorgen dat de resultaten van de workshop een zo volledig mogelijk en evenwichtig beeld geven van de werkelijkheid is er voor gekozen om experts met verschillende achtergronden aan de workshop te laten deelnemen. Om deze reden was er ook de wens om experts van zowel RWS als marktpartijen uit te nodigen. Het is helaas niet mogelijk gebleken om mensen van RWS bij deze workshop aanwezig te laten zijn. Er is derhalve gekozen voor een verscheidend pallet aan experts, welke werkzaam zijn binnen ARCADIS. Een drietal experts van ARCADIS is bereid gevonden om deel te nemen aan de workshop. Al deze experts zijn betrokken geweest bij het project van de A4DS. De achtergronden en kennisgebieden van de experts zijn verschillend en hieronder beknopt weergegeven:

Expert 1: Wegen: o.a. ontwerp en onderhoudsadvies

Expert 2: Verkeerstunnels: o.a. faaldefinities en technische installaties

Expert 3: Veiligheid: o.a. Integraal Veiligheidsplan (IVP)

Top 9 generieke invloedsfactoren

Tijdens de workshop zijn de meest belangrijke generieke invloedsfactoren besproken. In de voorgaande onderzoeksstap, de interviews met experts, zijn dit de invloedsfactoren die zijn aangemerkt met de meeste invloed op de RAMS prestatie van een snelwegsysteem.

Werkwijze designworkshop

De 9 invloedsfactoren worden één voor één besproken. De experts geven eerst individueel aan wat volgens hen de invloed is van de invloedsfactor op de RAMS prestatie van de A4DS. Vervolgens worden deze resultaten in groepsverband besproken. Verschillende antwoorden worden besproken en na een discussie zal er consensus bereikt worden. In het geval dat er geen consensus komt, zal een gemiddelde van de drie beoordelingen van de experts worden genomen. Vervolgens zal de

invloed van de invloedsfactoren op de A4DS vergeleken worden met een generiek snelwegsysteem. Samen met de deelnemers aan de workshop zal getracht worden de verschillen te verklaren. Daarna wordt nagegaan hoe de invloedsfactor gemanaged wordt in het project van de A4DS. Als laatste zullen mogelijke maatregelen om RAMS prestatie te verbeteren voor A4DS gezocht worden.

Uitwerking workshop

De resultaten van de workshop zijn per invloedsfactor uitgewerkt. In de tabel wordt met “Gemiddeld generiek” de invloed bedoeld zoals de experts in de interviews in de vorige stap van het onderzoek aan hebben gegeven. Zij hebben toen de mate van invloed aangegeven op een gemiddelde oftewel generieke snelweg.

Materiaalkeuze

Invloedsfactor: Materiaalkeuze	R	A	M	S	initiatief	ontwerp	realisatie	gebruik
Expert 1	M	H	H	L		X		
Expert 2	H	H	H	L		XX		X
Expert 3	H	H	H	L		XX		X
Gemiddeld A4	H	H	H	L		X		
Gemiddeld Generiek	H	H	M	L		X		
Vershil								

Analyse levensfase

Materiaalkeuze vindt niet alleen plaats tijdens de ontwerpfase, maar ook tijdens de gebruiksfase. Op het moment dat materialen vervangen moeten worden, dan wordt er opnieuw een keuze gemaakt. Misschien worden er dan andere en/of nieuwe materialen of technieken toegepast. De grootste invloed is echter altijd in de ontwerpfase.

Verklaring invloed op A4DS

Kleine invloed materiaalkeuze op veiligheid

De materiaalkeuze heeft volgens de experts maar een lage invloed op de veiligheid. Dit wordt verklaard door:

- Veiligheidseisen zijn al grotendeels in het ontwerp vertaald. Een keuze voor een ander materiaal heeft dan maar een beperkte invloed op de veiligheid.
- De eigenschappen waaraan materialen moeten voldoen zijn vaak al gespecificeerd. Dit wordt veelal geborgd door ontwerpvoorschriften, zeker als het gaat om verkeersmanagement voorzieningen voor tunnels (NEN normen, richtlijnen en handreikingen). Dit gebeurt ook vaak door middel van keurmerken voor bepaalde materialen.

Voor de A4DS geldt:

Door het aangeven van RAMS eisen door RWS voor de A4DS, moet de aannemer een bepaalde kwaliteit leveren. Het gaat dus niet alleen om de laagste prijs voor wat binnen alle eisen en normen mogelijk is. Toch wil RWS dat voor een groot aantal installaties en onderdelen voorschriften gevolgd worden. RWS wil sommige systeemonderdelen gelijk hebben aan andere snelwegen en tunnels in Nederland. Eigenlijk is dit een maatregel om de RAMS kwaliteit te waarborgen. Door het

voorschrijven van materialen, maakt RWS al belangrijke keuzes voor de RAMS kwaliteit. Bewezen prestaties zijn belangrijk voor RWS. Dit is moeilijk als er een alternatief komt; Je hebt dan immers nog geen bewezen prestaties.

Bij de A4DS wordt van de aannemer gevraagd een LCC analyse te geven van het systeem over een periode van 100 jaar. De LCC moet dus afgewogen worden tegenover de RAMS prestaties.

Mogelijkheden voor managen invloedsfactor

De experts geven twee mogelijke maatregelen aan om de invloed van de materiaalkeuze te managen, waardoor de RAMS prestatie van de A4DS zal verbeteren:

- Hogere ontwerpisen stellen, waardoor hogere eisen gesteld worden aan de materialen.
- Flexibel bouwen, zodat in de toekomst verbeteringen aangebracht kunnen worden. Een voorbeeld hiervan is een camera in een tunnel. In een geïntegreerd contract kun je geen type en merk camera voorschrijven. Daarnaast weet je niet of in de toekomst deze camera nog wel beschikbaar is. In dat geval is het handig om het systeem zodanig flexibel te maken, dat ieder type camera erin kan en dat het samen met de rest van het systeem functioneert.

Weggebruikers en incidenten

Invloedsfactor: Weggebruikers en incidenten	R	A	M	S	initiatief	ontwerp	realisatie	gebruik
Expert 1	H	H	ZL	H				X
Expert 2	ZH	ZH	ZL	ZH				X
Expert 3	H	H	L	H	X	X	X	X
Gemiddeld A4	H	H	L	H				X
Gemiddeld Generiek	H	H	L	H				X
Verschil								

Analyse levensfase

In alle levensfasen wordt er al rekening gehouden met de weggebruiker, maar de weggebruiker oefent haar invloed op het systeem pas uit tijdens de gebruiksfase.

Verklaring invloed op A4DS

Er wordt al rekening gehouden met de weggebruiker door onder andere ontwerprijlijnen en wetgeving voor veiligheid.

Een stremming van het gehele tracé, wat alleen gebeurt bij echt grote ongevallen, komt bijna nooit voor. De pechgevallen en kleinere incidenten, waardoor het verkeer even zal stremmen, hebben door de hoge frequentie wel een groot negatief effect op de betrouwbaarheid en beschikbaarheid van de A4DS. De experts geven aan dat het vooral de gebruikers zelf zijn die de beschikbaarheid van het systeem beïnvloeden (menselijke invloed).

De invloed van weggebruikers op de A4DS is iets kleiner ten opzichte van een gemiddeld snelwegstelsel, omdat er een goede alternatieve route in het netwerk is met de A13. Een incident heeft minder invloed op de doorstroming, omdat weggebruikers nog wel kunnen doorrijden via de A13.

Een incident op de A4DS heeft een sterk negatief effect op de beschikbaarheid, omdat men er slecht bij kan komen (weinig ruimte). De gevolgen van een ongeval zijn dus groter dan bij een gemiddeld snelwegstelsel.

Mogelijkheden voor managen invloedsfactor

De experts geven verschillende mogelijke maatregelen aan om de invloed van de materiaalkeuze te managen, waardoor de RAMS prestatie van de A4DS zal verbeteren. Twee hiervan zouden direct toepasbaar zijn, twee andere maatregelen zijn niet projectspecifiek.

Direct toepasbaar zouden zijn:

- Één snelheidsregime: iedereen op de weg rijdt even snel. Niemand zal inhalen. Veel onveiligheid wordt veroorzaakt door snelheidsverschillen tussen weggebruikers, deze onveiligheid wordt hiermee weggenomen.
- Geen concessies doen aan richtlijnen: het gebeurt vaak dat er van richtlijnen wordt afgeweken. Dit komt omdat het “maar” richtlijnen zijn en geen harde wetten. Het gebeurt volgens de experts veel te vaak dat men op het minimum van het minimum gaat zitten.

Specifiek voor de A4DS:

De tunnel in segmenten van 2 rijstroken opdelen. Dit zou de tunnel veiliger maken, doordat je minder rijstrookwisselingen hebt en bij een ongeval komen minder mensen in onveiligheid.

Niet project specifiek zijn:

- Automatische voertuiggeleiding: Volgens de experts zullen hierdoor veel veiligheidsproblemen opgelost worden. Er zullen minder incidenten plaats vinden door menselijke fouten. Ook de route is voorspelbaar, er zullen dus geen onverwachte rijstrookwisselingen plaatsvinden.
- Keep-your-lane: Dit principe zal het aantal rijstrookwisselingen verlagen, wat de veiligheid verhoogt.

Het is altijd veiligheid versus betaalbaarheid. Het gaat erom dat het systeem veilig genoeg is.

Complexiteit van het systeem

Invloedsfactor: Complexiteit	R	A	M	S	initiatief	ontwerp	realisatie	gebruik
Expert 1	H	H	H	H		X	X	
Expert 2	H	H	H	H	X	X	X	
Expert 3	H	H	H	M	X	X	X	X
Gemiddeld A4	H	H	H	H	X	X	X	
Gemiddeld Generiek	H	H	H	H	X	X	X	
Vershil								

Analyse levensfase

De complexiteit van het systeem heeft invloed op zowel de iniatief-, als de ontwerp- en realisatiefase.

Verklaring invloed op A4DS

De A4DS heeft een hogere complexiteit dan een gemiddeld snelwegstelsel. Dit heeft verschillende oorzaken:

- de lastige aansluiting aan de zuidkant op het ketelplein,
- de verdiepte ligging in een bak,
- 4 betrokken gemeentes: Middendelfland, Vlaardingen, Schiedam en Delft
- 2 veiligheidsregio's: Haaglanden en Rotterdam-Rijnmond

De grootste risico's in projecten zijn echter niet zozeer van technische aard, maar vaker procesrisico's (contracteren, organisatorisch, projectbeheersing etc.). Hierbij moet ook gedacht worden aan de vele raakvlakken tussen disciplines.

Bij de A4DS wordt de invloed van de complexiteit gemanaged door:

Mogelijkheden voor managen invloedsfactor

Mogelijke extra beheersmaatregelen hiervoor zijn:

- Andere manier van contracteren: Naast het ontwerpen en bouwen, ook het onderhoud binnen hetzelfde contract brengen. Hierdoor zijn minder partijen verantwoordelijk voor het systeem tijdens de levensfasen van het systeem. Dit verlaagd de complexiteit.
- Meer tijd nemen voor project, geen fases parallel schakelen die niet parallel geschakeld kunnen worden.
- De inzet van de juiste mensen op juiste moment in de tijd. Nu is de situatie vaak zo dat er eerst aangemodderd wordt met mensen die niet echt wat kunnen bijdragen. Later worden de duurdere mensen ingeschakeld om "puin te ruimen". Soms is het beter de dure mensen in het begin om de tafel te laten zitten, zodat het proces vanaf het begin goed loopt.

Vervangbaarheid en modularisering

Invloedsfactor: Vervangbaarheid	R	A	M	S	initiatief	ontwerp	realisatie	gebruik
Expert 1	ZL	H	H	M				X
Expert 2	ZL	H	H	L		X		
Expert 3	L	H	H	L		X		
Gemiddeld A4	ZL	H	H	L		X		X
Gemiddeld Generiek	L	H	H	L		X		
Verschil								ja

Vervangbaarheid en modularisering hebben een positief effect op de onderhoudbaarheid en de beschikbaarheid. Als er systeemonderdelen vervangen moeten worden kan dit immers sneller gebeuren.

Analyse levensfase

Vervangen gebeurt tijdens de gebruiksfase, maar hier kan ook in de ontwerpfase al rekening mee gehouden worden.

Verklaring invloed op A4DS

Bij de A4DS worden er beperkingen opgelegd aan deze invloedsfactor, door beperkte ruimte en eisen vanuit de omgeving.

Vervangbaarheid kan indirect geëist worden, door het stellen van RAMS eisen, waardoor er automatisch naar de vervangbaarheid gekeken moet gaan worden om aan de RAMS eisen te voldoen. In het RAM plan voor de A4DS zijn ook directe vervangbaarheidseisen opgesteld. Als een bepaalde functie faalt, moet dit binnen een bepaalde tijdsperiode gerepareerd moet zijn.

Mogelijkheden voor managen invloedsfactor

Mogelijke maatregelen om de vervangbaarheid te verhogen:

- Het te allen tijde beschikbaar hebben van onderdelen (bijv. camera's) met een korte levensduur (max. 10 jaar). Als je deze onderdelen altijd beschikbaar hebt, dan kun je ze snel vervangen.
- Systemen redundant uitvoeren: Wanneer een onderdeel niet eenvoudig te vervangen is er voor kiezen om het in ieder geval 2 keer uit te voeren (i.p.v. 1 keer). Hierdoor heb je meer tijdsruimte om onderhoud uit te voeren. Meer onderdelen vergen echter ook meer onderhoud.
- Het toepassen van MobiSlab. Dit zijn betonnen platen op palen, die eenvoudig vervangen kunnen worden. Deze toepassing is echter in aanleg duurder dan de bestaande manier van verharderen.

Probleem is dat er nog vooral gekeken wordt naar de primaire (realisatie) kosten en minder naar de toekomstige vervangbaarheid. Er gelden bij RWS 2 verschillende budgetten voor realisatie projecten en onderhoud. Hierdoor is er minder kijk op de totale LCC van een systeem.

Onderhoudsstrategie, specificaties en procedures

Invloedsfactor: Onderhoudsstrategie	R	A	M	S	initiatief	ontwerp	realisatie	gebruik
Expert 1	H	H	H	H				X
Expert 2	H	H	H	ZH		X		X
Expert 3	H	H	H	M		X		X
Gemiddeld A4	H	H	H	H		X		X
Gemiddeld Generiek	M	H	H	M		X		X
Vershil	ja			ja				

Slecht onderhoud kan leiden tot minder verkeersveiligheid. Voorbeeld hiervan zijn de gaten in de wegen tijdens de winter van 2009/2010. Een goede onderhoudsstrategie kan dit verhelpen.

Verklaring invloed op A4DS

Het verschil in de aangegeven mate van invloed op de betrouwbaarheid en de veiligheid (tussen A4DS en gemiddeld systeem) wordt door de experts verklaard doordat experts van ARCADIS anders naar deze invloedsfactor kijken dan RWS of een aannemer.

RWS werkt alleen met correctief onderhoud voor haar wegen, niet preventief.

Voor de A4DS geldt:

Op basis van ervaringen met de A73, waar de RAMS prestaties niet naar wens waren, heeft men geleerd hier maatregelen te nemen voor de A4DS. Derhalve is de onderhoudsstrategie heel belangrijk bij de A4. Veel belangrijker dan bij andere projecten. Er wordt een onderhoudsonderzoek gedaan, om uit te vinden wat de beste manier is om de technische installaties de eerste 8 jaar bij de aanbesteding bij een aannemer neer te leggen. Er worden dus lessen getrokken uit de A73.

Er wordt voor de A4 een preventief onderhoudsrooster opgesteld aan de hand van een beschikbaar tijdsvenster per week. Dit is ruimte die beschikbaar is voor preventief onderhoud (en eventueel correctief onderhoud). Een periode van 6 uren in de nachtperiode à 45 weken per jaar. Er mag van die 45 weken slechts een beperkt aantal nachten gebruikt worden. Dit geeft de mogelijkheid om preventief onderhoud af te wegen ten opzichte van de kans op falen. Dit kan zo geoptimaliseerd worden, dat de beschikbaarheid maximaal is (of in ieder geval aan die minimale RAMS eisen voldoet).

Mogelijkheden voor managen invloedsfactor

Mogelijke manier om dit beter te managen:

- Onderhoudsprotocol opstellen: Met het ontwerpen van het systeem, ook onderhoudsinstructies schrijven. Hiermee bewerkstellig je dat het onderhoud zo wordt uitgevoerd als waar het voor ontworpen is. Waardoor als er een partij of persoon verandert gedurende een van de levensfases, die informatie niet verloren gaat.

Geometrie van de weg

Invloedsfactor: Geometrie	R	A	M	S	initiatief	ontwerp	realisatie	gebruik
Expert 1	M/H	H	M	M	X	X		
Expert 2	L	L	L	H	X	X		
Expert 3	H	H	H	H	X	X		X
Gemiddeld A4	M	M	M	H	X	X		
Gemiddeld Generiek	L	L	M	H		X		
Verschil	ja	ja			ja			

Verklaring invloed op A4DS

Een complexe geometrie kan leiden tot ongelukken en daardoor tot een lagere beschikbaarheid. De invloed van de geometrie is bij de A4DS hoger door de aansluitingen die er op de tunnel zitten (aansluiting Kethelplein). De geometrie van een snelweg wordt grotendeels bepaald door de omgeving. Bij de A4DS is dat duidelijk het geval.

Veiligheid is een duidelijk issue in het specifieke geval van de A4DS. Het ontwerp is heel erg op veiligheid gestuurd. Het gaat hier dan over de ongelijke tunnelmond, verspringing van de portalen, licht/donker adaptatie, taakverzwaring weggebruiker door invoegend verkeer.

De experts geven aan dat de geometrie in het geval van de A4DS door randvoorwaarden is bepaald.

Menselijke invloed op het ontwerpproces

Invoedsfactor: Menselijke impact ontwerp	R	A	M	S	initiatief	ontwerp	realisatie	gebruik
Expert 1	M	H	M	M	X	X		
Expert 2	L	L	M	L	X	X		
Expert 3	L	L	L	L	X	X	X	X
Gemiddeld A4	L	M	M	L	X	X		
Gemiddeld Generiek	M	H	H	M		X		
Vershil	ja	ja	ja	ja	ja			

In principe moeten ontwerprichtlijnen ervoor zorgen dat ontwerpfouten niet voorkomen. Toch kan een eis uit een richtlijn verkeerd geïnterpreteerd worden.

Verklaring invloed op A4DS

Door de ervaringen van de A73 wordt er nauwlettender naar het ontwerpproces gekeken door RWS. Daarom is bij de A4DS deze factor van minder invloed. Er is door de opdrachtgever meer aandacht aan besteed.

Onderhoudsomgeving

Invoedsfactor: Onderhoudsomgeving	R	A	M	S	initiatief	ontwerp	realisatie	gebruik
Expert 1	L	H	M	M				X
Expert 2	ZL	H	H	M				X
Expert 3	M	H	H	H		X	X	X
Gemiddeld A4	L	H	H	H				X
Gemiddeld Generiek	L	L	H	H				X
Vershil		ja						

Verklaring invloed op A4DS

Voor de A4DS geldt dat er relatief weinig fysieke ruimte is voor het uitvoeren van onderhoud (werken langs de kant van de weg), omdat er naast de tunnel ook een gedeelte verdiepte ligging in een bak is.

Veiligheidseisen

Invoedsfactor: veiligheidseisen	R	A	M	S	initiatief	ontwerp	realisatie	gebruik
Expert 1	H	ZH	H	H	X	X		
Expert 2	M	M	M	ZH	X	X	X	X
Expert 3	H	H	H	H	X	X		
Gemiddeld A4	H	H	H	H	X	X		
Gemiddeld Generiek	M	H	M	ZH				
Vershil								

Voor veiligheid geldt: allereerst is er de capaciteitsvraag waaraan je wilt voldoen, vervolgens moet dit ook veilig zijn. Hierdoor ontwerpen we ook allerlei systemen ter preventie van een incident, beperking van het incident, het in veiligheid brengen van weggebruikers en het veilig laten optreden van hulpverleners. Alle systemen en apparaten die een veiligheidsfunctie ondersteunen moeten blijven werken. Doordat veiligheid een voorwaarde is voor de beschikbaarheid van het systeem hebben de betrouwbaarheid en beschikbaarheid van veiligheidsondersteunende systemen een directe invloed op de betrouwbaarheid en beschikbaarheid van het gehele snelwegstelsel.

Met wet- en regelgeving wordt een minimum veiligheidsniveau geborgd, wat een positief effect heeft op de veiligheid. Omdat veiligheid een voorwaarde is voor het gebruiken van het systeem, heeft het een negatief effect op de betrouwbaarheid en beschikbaarheid. Een hogere veiligheid, wat zorgt voor minder ongevallen, heeft dus ook een positief effect op de betrouwbaarheid en beschikbaarheid.

Voorbeeld: Een sprinkler installatie. De kans is zeer klein dat deze installatie gebruikt hoeft te worden. Maar op het moment dat er een grote brand is, kun je wel een langdurige niet-beschikbaarheid hebben als je die sprinkler installatie niet hebt. Als je dan toch voor die sprinkler kiest, terwijl dat niet binnen je V&G beleid en dus de tunnelwet valt, is de beschikbaarheid positief beïnvloed.

Mogelijkheden voor managen invloedsfactor

Mogelijke maatregel:

Minder strenge veiligheidseisen stellen aan verkeerstunnels. Een klein negatief effect op de veiligheid zal een sterk positief effect hebben op de betrouwbaarheid en beschikbaarheid.

Samenvatting mogelijke beheersmaatregelen

Experts hebben de invloed op de A4DS van de belangrijkste generieke invloedsfactoren geanalyseerd. De experts hebben mogelijke maatregelen voorgesteld om de RAMS prestatie van de A4DS te verbeteren. Deze maatregelen worden hieronder weergegeven in Tabel 11. Bij elke maatregel is aangegeven voor welke invloedsfactor die is opgesteld, wat het effect is en wat de kosten er van zijn.

invloedsfactor	voorgesteld door experts	beoordeling door experts			
		invloed	kosten	Positief effect op	Negatief effect op
1 materiaalkeuze	hogere eisen stellen aan materialen	middel	hoog	R + A + M	-
	flexibel bouwen	middel	middel	R + A + M	-
2 weggebruikers en incidenten	één snelheidsregime	hoog	laag	R + A + S	wellicht reistijd
	geen concessies richtlijnen	hoog	middel	R + A + S	-
3 complexiteit van het systeem	DBM contract	middel	middel	R + A + M + S	-
	langere projectduur, minder fases parallel	hoog	laag	R + A + M + S	projectduur
	juiste mensen, juiste moment	middel	laag	R + A + M + S	-
	onderdelen op voorraad	middel	middel	R + A + M + S	-
4 vervangbaarheid en modularisering	redundant uitvoeren	hoog	middel/hoog	R + A + M + S	-
	MobiSlab toepassen	middel	hoog	R + A + M + S	-
5 onderhoudsstrategie	onderhoudsprotocol	hoog	middel	A + M + S	-
6 geometrie van de weg	-				
7 menselijke impact ontwerpproces	-				
8 onderhoudsomgeving	-				
9 veiligheidseisen	minder strenge veiligheidseisen voor verkeerstunnels	hoog	laag	R + A + M	S
	Maatregel specifiek voor A4DS				
weggebruikers en incidenten	tunnel in segmenten van 2 rijstroken opdelen	middel	hoog	R + A + S	-
Legenda					
Kosten		kosten t.o.v. de voordelen			
laag		laag; kan meteen toegepast worden			
middel		redelijk hoog; over toepassing moet een goede afweging gemaakt worden			
hoog		hoog of erg hoog; voorlopig is deze maatregel te kostbaar			

Tabel 11: Managen invloedfactoren

Het is belangrijk om per project de specifieke situatie te bekijken. Per project kan verschillen wat de belangrijkste invloedsfactoren zijn. Om de RAMS prestatie te verbeteren moet eerst bekeken worden of de hierboven voorgesteld maatregelen nuttig en van toepassing zijn in het specifieke project.

Maatregelen invoeren

De maatregelen waar lage kosten aan verbonden zijn zouden direct ingevoerd kunnen worden. De verantwoordelijkheid hiervoor ligt echter bij verschillende partijen. Een viertal maatregelen valt hier onder (in de tabel met groen gemarkeerd).

Één snelheidsregime: De beheerder van het snelwegsysteem, in dit geval RWS, is verantwoordelijk voor de maximumsnelheid op de snelweg.

Langere projectduur, minder fases parallel: Ook hiervoor is RWS verantwoordelijk. Vaak is door een deadline gesteld door de politiek de projectduur ingekort. Op dat niveau zal beseft moeten worden dat deze kortere projectduur ten koste gaat van de RAMS prestatie van het uiteindelijke systeem.

Juiste mensen, juiste moment: Hiervoor is niet alleen RWS, maar zijn ook de marktpartijen verantwoordelijk. Door kwalitatief goede mensen bij aanvang van het project in te zetten, zal de kwaliteit van het snelwegsysteem toenemen.

Maatregelen afwegen

Voor de maatregelen die in de tabel met oranje zijn gemarkeerd moet per project een afweging gemaakt worden of ze toegepast kunnen worden.

Flexibel bouwen betekend dat in de toekomst eenvoudig veranderingen aan systeemonderdelen en materialen doorgevoerd kunnen worden. Hiermee wordt het systeem ook meer flexibel ten aanzien van toekomstige ontwikkelingen, die dan geïmplementeerd kunnen worden. De keuze voor meer flexibel bouwen moet natuurlijk al het ontwerp gemaakt worden. De voordelen worden pas geplukt tijdens de gebruiksfase als er onderhoud moet worden uitgevoerd, of als er zaken aan het systeem worden veranderd (bijv. uitbreiding van het systeem).

De maatregel “Geen concessies doen aan richtlijnen” heeft potentieel veel invloed. Het kan echter ook kostbaar zijn. Niet voor niets worden er namelijk vaak concessies gedaan aan de richtlijnen. Per project zal een afweging gemaakt moeten worden tussen de RAMS prestatie en de concessies die er gedaan worden aan de richtlijnen.

Door voor een DMB contract te kiezen, zorgt RWS ervoor dat het ontwerp, bouw en beheer door één partij wordt uitgevoerd. Deze ene partij is dan verantwoordelijk voor de RAMS prestatie en kan zelf op zoek naar de optimalisatie van de RAMS prestatie.

Het aantal onderdelen wat op voorraad is, zal ook per project afgewogen moeten worden. De aanschaf en opslag van reserve onderdelen kan kostbaar zijn, maar hierdoor kan wel de onderhoudbaarheid en de beschikbaarheid verhoogd worden. Deze afweging moet gemaakt worden door de partij die verantwoordelijk is voor het beheer en onderhoud.

Het zelfde geldt voor het redundant uitvoeren van systeemonderdelen. Redundant uitvoeren kan kostbaar zijn, maar hierdoor hoeft er minder vaak onderhoud uitgevoerd te worden en verbeterd de

betrouwbaarheid. Ook deze afweging moet gemaakt worden door de partij die verantwoordelijk is voor het beheer en onderhoud.

Een duidelijk onderhoudsprotocol kan de onderhoudbaarheid sterk verbeteren. Hierdoor wordt het onderhoud voorspelbaarder en inzichtelijker. Dit zou door de partij die verantwoordelijk is voor het beheer en onderhoud opgesteld moeten worden.

Voorlopig niet toepassen

De overige maatregelen die door de experts tijdens de workshop zijn voorgesteld zijn voorlopig te kostbaar om toe te passen. De voordelen van de maatregelen zullen niet opwegen tegen de winst die ermee behaald wordt. Het gaat hier om:

- Hogere eisen stellen aan materialen
- Mobislab toepassen

En specifiek voor de 44DS: De tunnel in segmenten van 2 rijstroken opdelen.

Bijlage 6C

In deze bijlage staat de tekstuele uitwerking van de Design Workshop.

Tekstuele uitwerking Design Workshop

Workshopleider: Pieter Tiemessen

Experts/participanten: Henk Visser, Wim van de Lagemaat, Ben van den Horn.

A4

De constructieve levensduur van het systeem is 100 jaar.

Er zit een kleine M in het D&C contract met de aannemer. De aannemer is de eerste 8 jaar verantwoordelijk voor de tunnel technische installaties.

Bij de A4 wordt ook nog van rijstrook gewisseld. Je hebt een invoegstrook, omdat je aansluit op het een verkeersplein (ketelplein).

Hoe moet de invloed op de betrouwbaarheid (R) aangegeven worden? → Het gaat niet om de absolute inschatting van falen, maar meer om wat het extra faalt ten opzichte van een referentie.

Lagemaat: Mijn idee is dat je pas niet beschikbaar bent, als het systeem niet meer veilig is. Door de voorwaarde veiligheid is überhaupt een reden om niet beschikbaar of niet betrouwbaar te zijn.

VdHorn: Veiligheid is een randvoorwaarde. Op het moment dat de veiligheid niet meer gewaarborgd is, kom je bij de vraag of je nog wel of niet kunt blijven exploiteren. Ik denk dat je dan over falen praat. De condities voor een veilige exploitatie zijn niet langer geborgd.

Materiaalkeuze

Lagemaat: Materiaalkeuze is ook tijdens de gebruiksfase. Je kiest opnieuw dingen, als je zaken vervangt. Misschien nieuwe technieken toepassen.

Visser: Ik ben het eens met Wim, maar de grootste invloed heb je tijdens het ontwerp.

VdHorn: Bij veiligheid: op het moment dat je heel veel betrouwbaarheids- en beschikbaarheidsproblemen hebt, waardoor je het tracé moet sluiten is dat natuurlijk goed voor de veiligheid op dat tracé. Maar tijdens het onderhoud aan het tracé heb je te maken met omleidingroutes, waardoor je onveiligheid in je omgeving kunt creëren. Je kunt dus je burens opzadelen met een veiligheidsprobleem.

Stap 1 en 2

Tiemessen: RAM komt overeen met generiek systeem. De invloed op S schalen jullie hoger in voor de A4 dan de experts voor een generiek systeem.

Lagemaat: Ik denk toch niet dat de materiaalkeuze zo heel veel invloed heeft op de veiligheid. Ik denk dat je dan vooral naar processen moet kijken.

Visser: Veiligheidseisen worden al grotendeels in het ontwerp vertaald. Als je iets andere materialen kiest, bijvoorbeeld voor meer duurzaamheid kiest, dan heeft dat maar een beperkte invloed op je veiligheid.

Lagemaat: Er is ook veel gespecificeerd aan waar het materiaal aan moet voldoen.

VdHorn: We hebben heel veel ontwerpvoorschriften waarmee dit geborgd is. Zeker als het gaat om verkeersmanagement voorzieningen voor tunnel (NEN normen en richtlijnen en handreikingen).

Visser: Wat er nu bij de A4 gebeurd is dat er door het aangeven van RAMS eisen dat een aannemer een bepaalde kwaliteit met leveren en niet alleen de laagste prijs. RAMS bepaalt eigenlijk de operationele kwaliteit van een systeem. Tot nu toe is dat nog niet gedaan in contracten en krijg je iets voor de laagste prijs. Dan weet je zeker dat je een 6 minnetje krijgt. Met RAMS kun je hier nu een 7 van maken. Probleem is dat heel Nederland een 6,5 is en dan naar een 7 moet gaan. Er is natuurlijk niet 1 veel beter systeem te maken dan de rest. Je kunt er naar streven om dat later te optimaliseren.

Lagemaat: Materiaalkeuze wordt vrijgelaten door de aannemer. Zij moet dan aantonen dat met deze materialen aan de eisen wordt voldaan. Voor een heel aantal installaties en andere delen zijn er gewoon voorschriften. Dat wil RWS net zo hebben zoals het overal al staat.

Visser: Dat RWS het zo wil als dat het ergens anders ook al is, zegt ook iets over welke betrouwbaarheid ze willen. Eigenlijk is dat al een soort maatregel voor je RAMS kwaliteit. Bewezen prestaties zijn belangrijk voor RWS. Dat is het moeilijke als je met een alternatief komt; Je hebt geen bewezen prestaties.

Stap 3

Visser: Verschillende opties: Nadere eisen stellen aan materialen.

Zodanig flexibel bouwen, zodat ik in de toekomst verbeteringen kan aanbrengen.

Bij een tunnelproject hadden ze een probleem. Ze zaten met een geïntegreerd contract, maar ze konden geen type en merk camera voorschrijven. Laat staan dat het later in de tijd nog wel beschikbaar is. Dan is het misschien wel goed dat je het systeem zodanig flexibel maakt, dat ieder type camera erin kan en dat het samen kan werken. Ook met software zou dat fijn zijn.

VdHorn: Ik zou eigenlijk pas iets willen verbeteren als het onder de maat is.

Tiemessen: Ik wil het graag per invloedsfactoren behandelen nu.

Visser: Er is natuurlijk nog wel een totaal afweging nodig.

Lagemaat: Nog even over materiaalkeuze: Bij de A4 wordt dit ondervangen door een LCC analyse te eisen over 100 jaar. De minimale LCC over 100 jaar. Dit moet je dus afwegen tegenover je RAMS prestaties.

Weggebruikers en incidenten

Lagemaat: Vergeleken met de andere factoren is deze de belangrijkste. Weggebruikers veroorzaken de meeste ongelukken en “gekke” files.

VdHorn: Je kijkt dus vooral naar incidenten en calamiteiten en niet naar normale files door te hoge intensiteit → Ja

VdHorn: Ik kijk vooral naar stremming van het gehele tracé. Dan praat je dus over echt grote ongevallen. Die gebeuren bijna nooit. Die hebben niet zo'n grote invloed op je jaarlijkse niet-beschikbaarheid. Als ik een enkel pechgeval wel mee zal tellen, waardoor het verkeer even zal stremmen, dan zit ik wat te laag qua invloed op R en A.

Lagemaat: De frequentie is heel hoog natuurlijk. Er gebeurt elke dag wel wat. Er gaat niet elke dag wat kapot door falen van materialen.

Visser: Het zijn vooral de gebruikers die de beschikbaarheid van het systeem beïnvloeden. De menselijke invloed is zo groot.

Stap 1

Lagemaat: Als je materiaalkeuze en weggebruikers naast elkaar zet, vind ik niet dat je dat goed met elkaar kunt vergelijken. Bij beide hebben we hoog ingevuld voor de R en de A. Mijn gevoel zegt dat je materiaalkeuze nooit zoveel winst kunt boeken dan dat de weggebruikers incidenten veroorzaken. Als ik naar dit lijstje kijk denk ik dat je er beter voor kunt zorgen dat je minder incidenten of ongevallen krijgt.

De invloed van weggebruikers op het systeem is voor de A4 iets minder t.o.v. andere systemen, omdat ze een goede alternatieve route hebben met de A13. Als er iets gebeurt op de A4, dan is de invloed minder en kunnen ze nog wel doorrijden.

Visser: Die omrij route loopt al wel heel snel vast.

Lagemaat: Ja, maar dat gebeurt nu ook al. Maar als je bij Utrecht de tunnel bij de A2 dichtgooit, dan staat heel Nederland vast.

Visser: Met ontwerprichtlijnen wordt rekening gehouden met de weggebruiker. Puur de ontwerprichtlijnen die er voor elke weg of tunnel zijn. Dat is de basis vanuit waar je vertrekt.

Je omgeving en de beperkte ruimte bepalen wel in grote mate welke ontwerpvrijheid je nog hebt.

Bij de A4 heb je bijv. een gasleiding langs het tracé liggen waar je rekening mee moet houden.

Lagemaat: Je begint met een capaciteitsvraag en daarbij denk je ook dat het veilig moet zijn met zo min mogelijk incidenten.

VdHorn: We lossen bereikbaarheidsproblemen op. En dat doen we met tracés met bijzondere kunstwerken erin, tunnels,

Visser: Om de omgeving zoet te houden.

VdHorn: Ook bij calamiteitsituaties hou je rekening met de veiligheid van de weggebruikers. Psychologie op de weggebruiker is daarin belangrijk. Vluchtwegen, er wordt dan veel vanuit de gebruiker geredeneerd. Dat wordt natuurlijk ondersteund door wetgeving voor veiligheid. De wet aanvullende regels veiligheid wegtunnels.

Je hebt de veiligheidsketen. Voorkomen, preventie (kans op ongevallen verkleinen, procedures), omvang incident beperken. Je wilt dat weggebruikers zichzelf in veiligheid kunnen brengen. En daarnaast wil je dat hulpverleners veilig kunnen optreden.

Maar ook in een calamiteitsituatie: Je wilt dat alle apparaten die een veiligheidsfunctie moet ondersteunen blijven werken. Dat vluchtwegverlichting, overdrukventilatie en vluchtdeuren ontgrendelen blijft werken. Dan heb je ook met betrouwbaarheid en beschikbaarheid van apparaten te maken.

Lagemaat: Eigenlijk heb je een cirkel.

Capaciteitsvraag A → Veiligheid → R en A van apparaten

Stap 3

VdHorn: Automatische voertuiggeleiding. Dat is niet projectspecifiek, maar wel goed voor de verkeersveiligheid. Daar gaan we heel veel veiligheidsproblemen mee oplossen als we dat hier invoeren. Je route is dan ook voorspelbaar, je doet geen onverwachte rijstrookwisselingen.

Visser: Ik zat te denken aan 1 snelheidsregime. Veel onveiligheid wordt veroorzaakt door snelheidsverschillen tussen weggebruikers. Iedereen even snel. Als iedereen 100 km/u rijdt, haalt ook niemand in.

Keep-your-lane is wellicht ook een goed principe.

Een maatregel zou ook kunnen zijn: Geen concessies doen aan richtlijnen. Als een ontwerprichtlijn zegt de weg moet een bepaalde bochtstraal hebben of verloop, dan moet je dat maar gewoon halen. Het gebeurt vaak dat er van richtlijnen wordt afgeweken. Dit komt omdat het “maar” richtlijnen zijn en geen harde wetten.

VdHorn: Men gaat op het minimum van het minimum zitten.

Visser: Dat doen we volgens mij veel te veel.

Als we naar de A4 kijken en dan naar het gedrag van de weggebruiker in de tunnel, dan is dit eigenlijk iets wat je niet moet doen.

VdHorn: Maar alles valt wel binnen de richtlijnen. Het is niet ideaal, maar het is een complex inpassingsvraagstuk.

Visser: De tunnel in segmenten van 2 rijstroken opdelen, zou de weg veiliger maken. Dit was ook eerst de bedoeling.

VdHorn: Het is altijd veiligheid versus betaalbaarheid. Waar het om gaat is dat het veilig genoeg is.

Visser: Dus vooral voor de invloedsfactor veiligheidseisen, zou je geen concessies moeten doen aan de richtlijnen, om zo het systeem veiliger te krijgen.

Concessies aan richtlijnen is vooral bij knooppunten. De weg is dan net wat smaller of steiler, het kunstwerk zou eigenlijk aangepast moeten worden, maar dat wordt niet gedaan.

Tiemessen: Maatregel zal dan zijn: Richtlijn wordt minimum eis. Deze maatregel heeft dan effect op de ontwerpfase en eigenlijk ook al contractfase.

Visser & VdHorn: Ik denk dat de invloed hiervan groot is.

Visser: Door een te krappe bocht of te weinig verkanting komen meer ongelukken voor. Dat zie je nog wel eens. Of dat er te weinig ruimte is om van rijstrook te wisselen. Hierbij heb ik het dan vooral over de lengte van de invoeg- of uitvoegstrook.

Kijk ook eens naar de bruggen in de A44, die zijn veel te smal. Iedereen gaat op de rem. Als er een vrachtwagen naast je zit, ga je daar achterrijden.

Tiemessen: Door deze maatregel zal de R, A en S prestatie verbeteren, omdat er zich minder incidenten voor zullen doen.

Visser: De kosten hiervan zijn hoog. Probleem is dat voor RWS het altijd te duur is, omdat ze een beperkte scope hebben.

VdHorn: Dit is dan projectoverstijgend.

Visser: Daar hebben ze dan geen geld voor over. Ik zou zeggen dat de kosten gemiddeld zijn. Het is de afweging wel waard.

VdHorn: Dit is dus niet beïnvloedbaar vanuit je project. Hier ligt alles al vast. Dit heeft met beleid te maken.

Visser: De begroting wordt alleen gemaakt op alle project kosten. De vervolgcosten (over de levensfasen) worden hier niet meegenomen. Dat is het probleem.

Complexiteit van het systeem

VdHorn: Dit is een lastige. Je zou zeggen dat je een systeem complex maakt om het beter te maken. Het is een beetje raar om te zeggen dat een complex systeem altijd een mindere prestatie levert. Dat is ook een beetje kort door de bocht. Zoals je complex nu verwoord hebt klinkt het een beetje als onbeheersbaar / TE complex systeem.

Visser: Een complex systeem heeft een meer dan normaal aantal raakvlakken met andere disciplines.

VdHorn: Als je veel raakvlakken hebt met andere disciplines, en je beheerst die goed, dan je een redelijk gunstige betrouwbaarheid hebt. Weinig verhoging van de frequentie van falen.

Visser: Dan heb je om het te beheersen, al een procesmaatregel genomen.

VdHorn: Er is een reden voor dat je een complex systeem hebt. Dat kan door de randvoorwaarden zijn bepaald. Ook inpassing en ruimtebeslag.

Tiemessen: Heeft de A4 een hogere complexiteit dan een gemiddeld generiek snelwegsysteem (weg + tunnel)?

Lagemaat: Hoger

VdHorn: Er zit natuurlijk een lastige aansluiting aan de zuidkant op het ketelplein.

Lagemaat: En die verdiepte ligging in een bak. De waterstand is ook van invloed op het systeem. Een factor die de complexiteit verhoogt.

Ook verschillende gemeentes waar je mee te maken hebt: Middenelfland, Vlaardingen, Schiedam en Delft.

VdHorn: 2 Veiligheidsregio's: Haaglanden en Rotterdam-rijnmond. Dit maakt het extra complex.

Tiemessen: Waarom maakt die verdiepte ligging (bak) het systeem complexer?

Visser: Eigenlijk zou je die volledig in beton gestort willen hebben, maar dat werd te duur. Toen hebben ze maar voor een folie gekozen op ten duur. Die folie moet het dan 100 jaar volhouden. Dit is nog maar de vraag. Ook de waterstand verandert in 100 jaar tijd.

Tiemessen: Wat wordt er bij het project van de A4 aan gedaan om de invloed van de complexiteit te beheersen?

Iedereen: Systems Engineering toepassen.

Visser: Dit is verplicht gesteld om te gebruiken. SE wordt ook toegepast bij vliegtuigen en wapen industrie. Dit alleen maar om complexiteit van systemen die functioneel gericht zijn, om dat goed af te stemmen op elkaar.

Je ziet ook een heel communicatietraject. Proceseisen (Vraagspecificatie VS 2) zie je hier ook in terug. Dit zit ook in een stukje kwaliteitsborging; dat je dingen aantoont. Dat zit ook in SE, een verificatiematrix. Er wordt dus wel enige dwang neergelegd om hier iets mee te doen.

VdHorn: De grootste risico's in projecten zit hem niet zozeer in technische risico's, maar meer in procesrisico's (contractering, organisatorisch, projectbeheersing etc.).

Visser: Er wordt dus wel degelijk rekening mee gehouden, maar dan wordt "de mens" wel je beperkende factor. Vooral de combinatie mensen en tijd. Als iedereen voldoende tijd heeft, dan zou alles wel goed aflopen, goed afgestemd zijn en goed werken als het eenmaal opgeleverd is.

Tiemessen: Hoe zou je de RAMS prestatie kunnen verbeteren door de invloed van complexiteit te beheersen?

Visser: Andere manier van contracteren

VdHorn: Meer tijd nemen voor je project en geen fases parallel schakelen, die je niet parallel kunt schakelen. Bij de A4 is bijna alles parallel gegaan.

Visser: De inzet van de juiste mensen op de juiste plaats op het juiste moment in de tijd, daar kun je nog de meeste winst mee halen. Er wordt eerst aangemodderd met mensen die niet echt wat kunnen bijdragen. Je kunt soms beter de dure mensen in het begin om de tafel laten zitten, dan dat je ze pas later inschakelt als ze puin moeten ruimen. Dit is zeker binnen ARCADIS wel eens zo. Eerst maar eens zoveel mogelijk goedkoop doen, en als het dan fout gaat heel veel kosten maken om het weer recht te breien met de juist mensen.

De mogelijke verbetering zit hem dus vooral in het proces en niet in het technische gedeelte.

Visser: De kosten hiervan zijn type 1. Dit is het altijd waard.

De RAM analyse en het veiligheidsplan hadden vanaf de initiatieffase parallel moeten lopen. Die hadden zo zoetjes aan gewoon moeten groeien. Wat er nu gebeurt is. Het tracé besluit was klaar en er moest maar verder gewerkt worden en hierbij moest dan ook een RAMS analyse gemaakt worden. Eigenlijk onafhankelijk parallel. Hierdoor wordt de integraliteit onmogelijk gemaakt. Meer tijd hoeft dan niet meer kosten mee te brengen, als je maar op het juiste moment begint met de juiste stappen.

Vervangbaarheid

Tiemessen: Vervangbaarheid en modularisering verhoogt juist de R, A en M prestatie.

Visser: Voorbeeld is dat als je een lamp moet vervangen in de tunnel en je alleen een speciale schroevendraaien moet gebruiken om het kapje open te krijgen. Dat is al heel wat anders als dat je dat kampje er eenvoudig af kunt klikken. Het dan ook ontworpen op vervanging.

VdHorn: Op het moment dat je heel betrouwbare verlichting hebt (bijv. LED) dan heb je zo'n vervangbaarheid misschien helemaal niet nodig.

Visser: We hebben bijv. ook MobiSlab (betonnen platen op palen). Die platen haal je er uit en stop je er zo weer in.

Lagemaat: Het is wel handig ook voor de veiligheid, als je een gedeelte in 1x kunt vervangen voor iets wat net wat beter is, een upgrade.

VdHorn: Een hoge positieve invloed op de M, omdat het makkelijker te onderhouden is.

Visser: Ik vind het wel opvallend dat vervangbaarheid en modularisering er bij de generieke uitgangspunten uitkomt als zeer belangrijk.

Als ik voor de A4 kijk: We noemen dat wel, maar passen het eigenlijk nooit toe.

Lagemaat: Er zijn wel een paar functionele eisen op gesteld voor de vervangbaarheid.

Visser: Er worden hier wel wat beperkingen voor opgelegd bij de A4. Beperkte ruime A4DS en eisen vanuit de omgeving. Wat dat betreft is het wel iets anders als een vergelijkbaar systeem.

Tiemessen: Makkelijker vervangbaar moet gesteld worden in eisen → Dit kan door RAMS eisen te stellen, waardoor je automatisch naar je vervangbaarheid moet gaan kijken om aan de RAMS eisen te voldoen.

Lagemaat: Dat wordt geëist.

Visser: Ik denk niet dat we nog lang niet zo ver zijn dat we daar al goed rekening mee houden. Waarom passen we geen MobiSlab toe op alle wegen. Dat is vanwege de kosten, maar ook omdat we het nog niet zo vaak hebben toegepast.

We kijken ook vooral naar aanlegkosten (lees: projectontwikkelaars). We kijken, hoewel dat in strijd is met materiaalkeuze en LCC, toch vooral bij aanbestedingen naar primaire kosten en minder naar de toekomstige vervangbaarheid.

Lagemaat: In het RAM plan staan eisen dat als een bepaalde functie faalt, dit binnen een bepaalde tijdsperiode gerepareerd moet zijn. Dit is dus een eis aan de vervangbaarheid.

Valt het beschikbaar hebben van materialen ook onder vervangbaarheid? Nee → Dit heb ik onder onderhoudsfaciliteiten gezet.

Visser: Beschikbaarheid van materialen (bijv. camera's) met een korte levensduur (max. 10 jr) is erg belangrijk. Als je die altijd beschikbaar hebt, kun je onderdelen snel vervangen.

Lagemaat: Redundancy is hierbij ook belangrijk. Als je het niet makkelijk kunt vervangen dat je het redundant uitvoert. Het zit er dan in ieder geval 2x in (i.p.v. 1x). Hierdoor heb je meer tijdsruimte om onderhoud uit te voeren.

Visser: Redundancy is het niet alleen. Ik bedoel ook meer overdimensioneren.

Lagemaat: Óf je kunt het snel vervangen óf je hebt er 1 extra staan.

VdHorn: Als je veel redundant uitvoert, moet je ook meer onderhoud uitvoeren.

Tiemessen: Wat is de winst die we met vervangbaarheid kunnen behalen?

VdHorn: Snel vervangen is altijd goed.

Visser: Vervangbaarheid heeft vooral invloed op A en M. Hier valt mogelijk veel winst te behalen.

VdHorn: Als snelle vervangbaarheid hoge kosten met zich meebrengt kun je je afvragen of je het wel moet doen.

Tiemessen: Kosten hiervan?

Visser: Als je er goed en vaak bij moet kunnen, dan heb je waarschijnlijk ook extra ruimte nodig.

Lagemaat: Ik denk dat het wel mee kan vallen dat je aan de hand van diegene die vaak falen en die op een vervelende plek zitten. Als je daar nou zou kijken, zou dat veel kunnen schelen in je beschikbaarheid. Misschien dat dat niet eens zoveel kost.

Kosten M.

Visser: Misschien wel veel winst uit te halen. Zeker als je naar bestaande systemen kijkt en hoe je de onderhoudbaarheid daarvan kunt verbeteren.

Onderhoudsstrategie

Tiemessen: Ben, waarom heb je een M gezet bij S Veiligheid?

VdHorn: Een beperking van je doorstroming is geen veiligheidsprobleem, als je tunnel is afgesloten. Het heeft wel een effect als apparaten onvoorspelbare dingen gaan vertonen, zoals bij de A73. Dan kan het wel een veiligheidsprobleem veroorzaken. Dan zit ik niet aan hele grote dingen te denken,

zoals een brand in de tunnel. Meer een verkeerslicht wat op rood springt, waardoor je een kleine kettingbotsing krijgt.

Slecht onderhoud kan leiden tot minder verkeersveiligheid.

Visser: Ik zit hierbij te denken aan de afgelopen winter, gaten in de weg. Hoe mensen reageren als ze een gat tegenkomen, die geven een ruk aan het stuur. RWS heeft op verschillende wegen door de zachte winters het onderhoud uitgesteld. Dan zie je door zo'n winter dat er gaten vallen. En dan repareren ze dat ook nog slecht.

VdHorn: Ik zit veel aan tunnels te denken als ik dit invul. Jij meer aan een normale weg.

Visser: De staat van de weg afgelopen winter is gewoon het resultaat van de onderhoudsstrategie van RWS. Hierdoor heb je meer kans op ongevallen, vooral voor motorrijders.

Lagemaat: De procedures voor je onderhoud hebben vooral te maken met de veiligheid van onderhoudspersoneel. Komt er ook bij kijken.

Visser: Verschil valt wel mee tussen beoordeling A4 en generiek. Verschil kan verklaart worden doordat mensen van RWS of aannemer andere dingen invullen dan mensen van ARCADIS. RWS werkt alleen maar met correctief onderhoud voor haar wegen, niet preventief.

Lagemaat: Op basis van ervaringen met de A73, waar de RAMS prestaties niet naar wens waren, is daar nu van geleerd voor de A4 om daar maatregelen voor te nemen. Dus de onderhoudsstrategie is heel belangrijk bij de A4. Veel belangrijker dan bij andere projecten.

Stap 2

Tiemessen: Hoe wordt de onderhoudsstrategie meegenomen bij de A4?

Visser: Meer in RAMS eisen. Volgens mij heeft de A73 veel indruk gemaakt bij RWS qua imago. Men is zich er behoorlijk bewust van dat men veranderen moet.

Lagemaat: Er wordt een onderhoudsplan / onderzoek gedaan, om te onderzoeken hoe voor die technische installaties voor 8 jaar hoe je dat bij de aanbesteding bij een aannemer moet neerleggen. Er worden dus lessen getrokken uit de A73.

Er wordt voor de A4 een preventief onderhoudsrooster opgesteld. Dit is ruimte voor preventief onderhoud (en correctief). Een periode van 6u 's nachts a 45 weken per jaar. Er mag dan een beperkt aantal nachten gebruikt worden. Een beschikbaar tijdsvenster per week.

Visser: Hier komt ook de LCC benadering naar voren. Als je meer preventief onderhoud gaat doen, dan wordt je beschikbaarheid wel iets negatief beïnvloed, maar je kans op falen wordt verlaagd. En dat zou je kunnen optimaliseren.

Lagemaat: Het idee is niet dat de aannemer dat tijdsvenster iedere week gaat gebruiken.

Visser: Degene die het project aanneemt, moet zelf een optimalisatie kunnen maken. Die moet voldoen aan bepaalde prestatie eisen.

Lagemaat: Op het moment dat je er niet aan voldoen krijg je dikke boetes (bonus en malus systeem).

Visser: In proces eisen opnemen dat er onderhoudsinstructies geschreven moeten worden. Hiermee bewerkstellig je dat het onderhoud zo wordt uitgevoerd als waar het voor ontworpen is. Waardoor je als er een partij of persoon verandert, dat die informatie niet verloren gaat. Onderhoudsprotocol.

VdHorn: Zo min mogelijk partijen, niet te veel onderaannemers.

Visser: Met een goede onderhoudsinstructie hoeft dat geen probleem te zijn.

Iemand die het ontwerpt heeft daar altijd een doel bij en gebruikt daar bepaalde leveranciers bij en die hebben daar ook hun instructies bij. Als je dat zou beschrijven in een document. Dan verbetert dat je prestatie.

Lagemaat: Met een goed onderhoudsprotocol is veel winst te behalen.

Visser: Wel wat winst.

Je moet het even afzetten tegen verkeersmaatregelen en uren 's nachts. Manuren 's nachts is denk ik maatgevend. Voorbeeld: Als ik aan een nutsbedrijf vraag wat het verschil is tussen verleggen of vervangen, dan maakt dat geen zak uit, het zijn vooral de manuren die veel kosten. In verhouding zijn de materiaalkosten heel laag.

Kosten M. Het kost iets meer maar je RAMS prestatie wordt wel beter. Het levert een betere kwaliteit voor de weggebruiker. Betere voorspelbaarheid van de reistijd.

Visser: De onderhoudsstrategie bij de A4 is nog wat lastig. Er wordt niet voor gekozen om 1 rijstrook af te zetten, maar meteen de hele weg af te sluiten, omdat je met de A13 een alternatief hebt.

Geometrie van de weg

VdHorn: Ik denk dat een complexe geometrie tot meer ongelukken leidt en daarmee veel reistijdverlies optreedt. Voor de A4 denk ik dan aan de aansluitingen die er op de tunnel zitten. Daarom heb ik die invloed op hoog gezet.

Visser: Het ketelplein is een hele vervelende, omdat die niet meer voldoet aan de richtlijnen. De rest van de weg zal wel mee vallen.

Lagemaat: Ik dacht dat het wel mee zal vallen, gewoon een stukje weg van A naar B. Maar misschien met die weefbewegingen in de tunnel en die bochten op het kruispunt, misschien dat dat dan meer ongelukken veroorzaakt. Maar in verhouding tot de rest draagt dit niet zoveel bij.

Visser: In het systeem van de A4DS is het wel zo dat als er iets mis gaat (ongeluk) dit een zwaar negatief effect heeft op de beschikbaarheid, omdat je er zo slecht bij kunt. De gevolgen zijn groter.

VdHorn: Veiligheid is wel een issue in dit specifieke geval van de A4. We hebben het veel over de ongelijke tunnelmond, verspringing van de portalen, licht/donker adaptatie, taakverzwaring door invoegend verkeer. Ik wil niet suggereren dat het uiteindelijk onveiliger is geworden, maar het is wel een issue. Ook als je naar het object kijkt is het niet iets wat je van te voren zo verzonnen zou hebben. Het is heel erg op veiligheid gestuurd.

Visser: De geometrie wordt bepaald door de omgeving.

Menselijke impact op het ontwerpproces

Visser: Door een simpele ontwerpfout, bijv. afstemmingsfout (onvoldoende rekening gehouden met uitzetten ijzeren brug).

VdHorn: In principe moeten ontwerprichtlijnen je hiervoor behoeden.

Visser: Toch kan een eis uit een richtlijn verkeerd geïnterpreteerd worden.

VdHorn: Ik zou me heel erg verbazen als wij een incompetent systeem afleveren, omdat mensen niet goed hebben gefunctioneerd.

Visser: Als ik naar de A73 kijk, is dat dan een menselijke factor in het ontwerpproces? Of zijn dat eisen die verkeer gesteld zijn? 1 van de dingen die speelden is dat de mensen van ABB (installaties) totaal niet wisten wat een UAVGC contract was, wat functioneel specificeren was.

VdHorn: Bedoel je dan ook projectbeheersing en contractering? Is het dan niet een gehele organisatie die faalt?

Visser: Voorbeeld: “De zwaan” (Erasmusbrug) ging te veel trillen, waardoor het asfalt los liet. Dit vind ik wel een ontwerpfout. Dan kun je zeggen dat is geen fout, want ik voldoe aan de richtlijnen. Maar de richtlijnen zijn zo zuinig gemaakt, zodat staal concurrerend kan zijn met beton, waardoor we gewoon veel beweging in stalen bruggen accepteren. Dat is dan toch ook wel een beetje falen van de mens.

Ik denk ook dat we juist door de ervaringen van de A73 er nauwlettender naar het ontwerpproces wordt gekeken door RWS. Daarom is bij de A4 deze factor van minder invloed. Er is door de opdrachtgever meer aandacht aan besteed.

Onderhoudsomgeving

Visser: Het falen wordt er niet anders door.

Er zal nog steeds onderhoud langs de weg uitgevoerd moeten worden. Er moet bijv. op stukken nog gewoon gemaaid worden.

Omdat je minder ruimte hebt in de verdiepte bak, is het wel moeilijker om naast de weg te werken. De weg zal dus vaker helemaal afgesloten moeten worden, wat een negatief effect heeft op de beschikbaarheid.

Veiligheidseisen

VdHorn: Ik denk dat je met wet- en regelgeving een minimum veiligheidsniveau borgt. Een positief effect op de veiligheid. Ik denk echter dat je nog wel iets kunt doen om de R en de A te verbeteren. Een sprinkler installatie: Dan zijn scenario's met een kleine kans van voorkomen hebben. Maar op het moment dat er een grote brand is, kun je wel een langdurige niet-beschikbaarheid hebben als je die sprinkler installatie niet hebt. Als je dan toch voor die sprinkler kiest, terwijl dat niet binnen je V&G beleid en dus de tunnelwet valt, heb je je beschikbaarheid positief beïnvloed.

Visser: Als ik kijk naar de faalmechanismes waarbij de tunnel dicht moet, dan zie je dat als gevolg van die veiligheidseisen een toename van falen (als de tunnel dicht gaat). Ten eerste zeg ik dat door de veiligheidseisen de tunnel veel vaker dicht gaat en je hebt langer de weg niet beschikbaar daardoor.

Tiemessen: Door veiligheidseisen krijg je een hogere veiligheid, maar het heeft een negatief effect op de RAM prestatie.

Visser: Hier kun je wat aan doen door veel apparaten dubbel uit te voeren of over te dimensioneren. Bijv. Een extra verlichtingsrij erin hangen, zodat je minder vaak correctief onderhoud moet uitvoeren.

De vraag is ook of we niet doorgeschoten zijn met de veiligheidseisen.

Meer scheidingswanden in de tunnel, verlaagt het groepsrisico en verhoogd dus de veiligheid.

Geld is natuurlijk de beperkende factor op de RAMS prestatie.

Algemeen

De lijst met belangrijkste invloedsfactoren is een soort checklist voor ARCADIS.

Het is goed om eens over deze punten na te denken. Nu blijkt dat niet alles zo simpel en duidelijk is afgesproken als het lijkt.

We hebben niet allemaal hetzelfde in gedachten als we over RAMS praten. Het is zeer nuttig om op een hoger abstractieniveau naar dit systeem te kijken.

Je ziet dat iedereen er een ander beeld bij heeft, zelf binnen hetzelfde bedrijf en zelfs binnen hetzelfde project.