

# Risicogestuurde onderhoudsaanpak - Maastunnel



ingenieursgroep  
nederland



## Introductie



**Naam:** Duncan Klene  
**Functie:** Consultant Asset Management  
**Achtergrond:** Electrical Engineering,  
Maintenance and Asset Management  
**Contact:** duncan.klene@amstellandingenieurs.nl  
06-22 80 99 54



**Naam:** Bram ten Klei  
**Functie:** Consultant Asset Management  
**Achtergrond:** Electrical Engineering,  
Maintenance and Asset Management  
**Contact:** bram.ten.klei@vhconsultancy.nl  
06-27 37 91 91



# Introductie

Een *collectief* van bevoegen ingenieurs die  
geen complexe opgave uit de weg gaan.

ingenieursgroep  
nederland

**m** maasstad  
ingenieurs

**a** amstelland  
ingenieurs

**VANHOLLAND**  
consultancy

We zijn klein als het kan, groot als het moet!



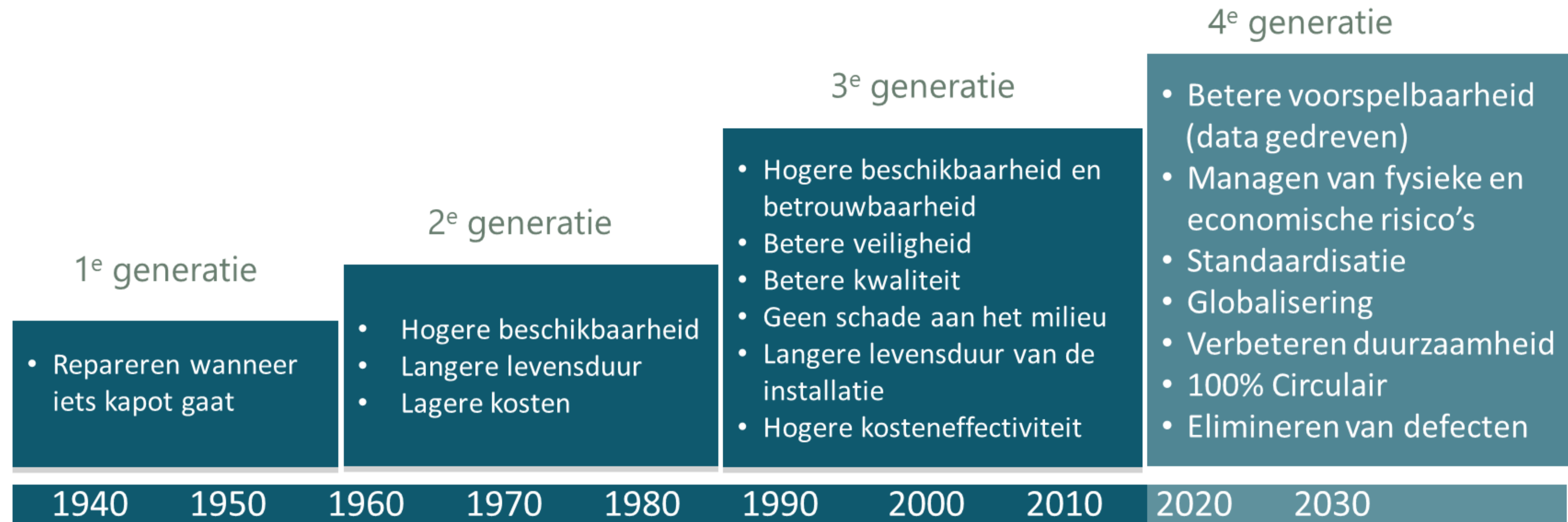


## Agenda

1. Introductie risicogestuurd OH
2. Toelichting "FMECA"
3. Aanpak FMECA's Maastunnel
4. Workshop
5. Vragen/ discussie

# 1/1 Introductie risicogestuurd OH

De groeiende verwachting van Assets door de jaren heen..



Bron: John Moubray



# 1/2 Introductie risicogestuurd OH

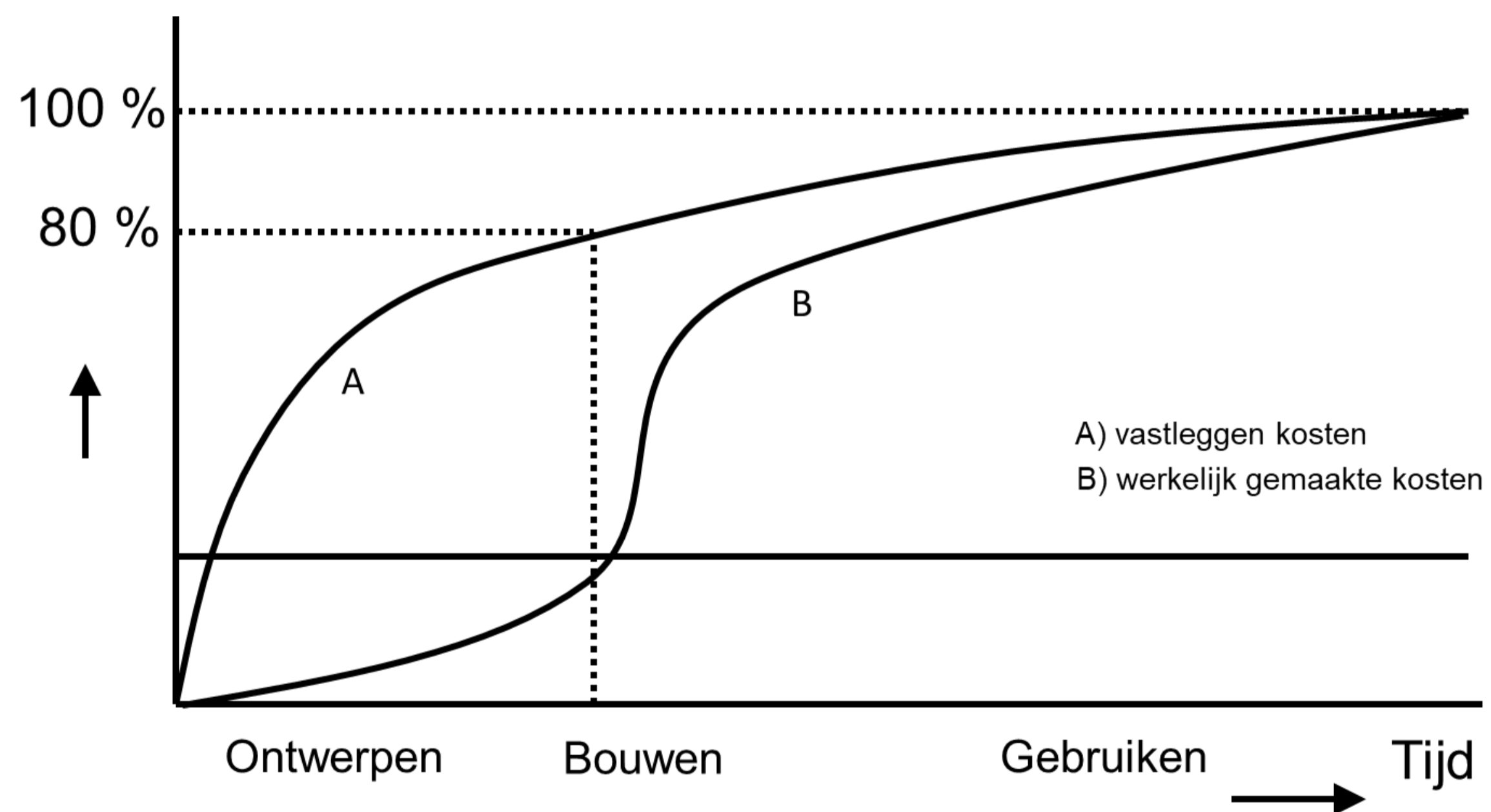
De groeiende verwachting van Assets door de jaren heen..





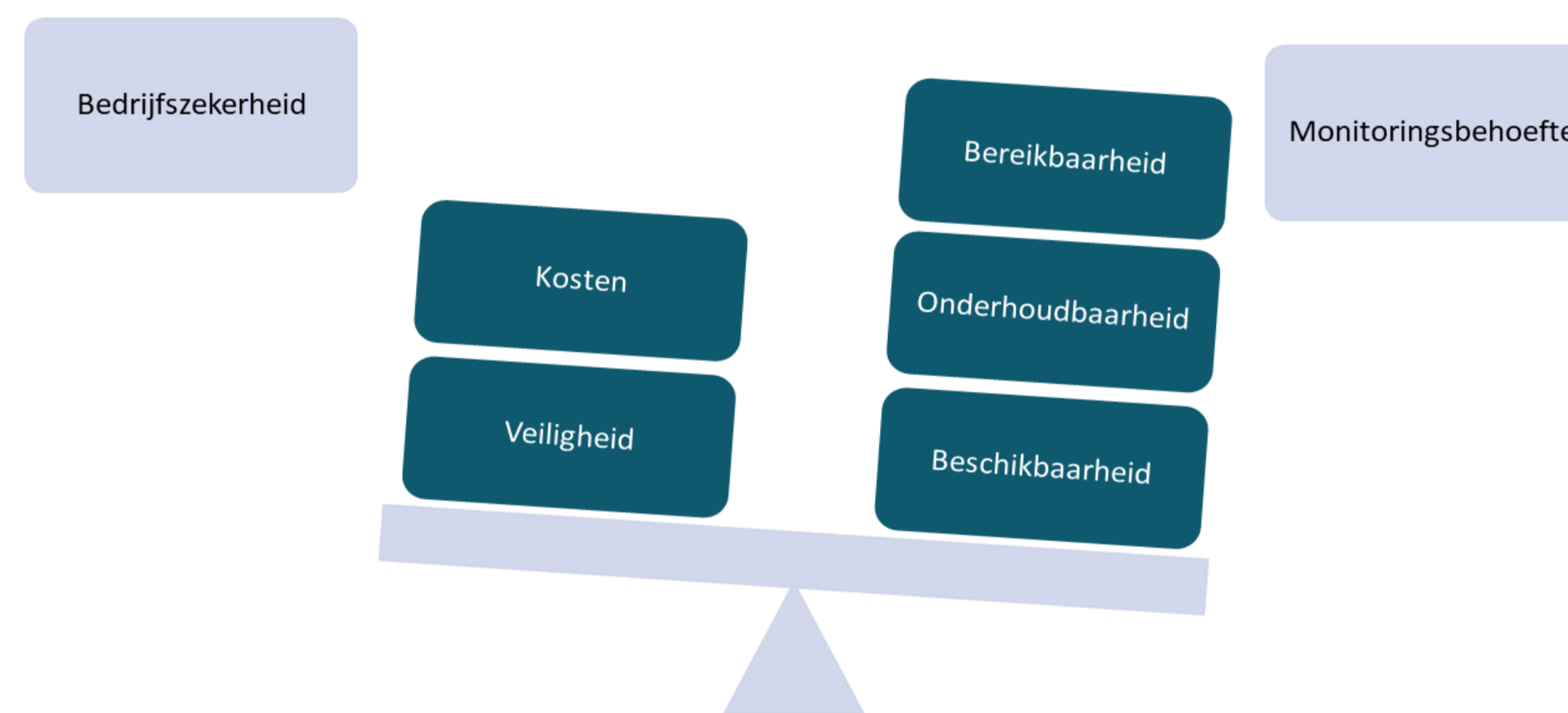
# 1/3 Introductie risicogestuurd OH

De meeste "winst" is in het ontwerp te behalen!



Bij ontwerpen worden **80%** van de latere **kosten** vastgelegd

Het vinden van het optimum tussen:



## 2/1 Toelichting FMECA

### Failure Mode Effect & (Criticality) Analyses [NEN-EN 60812 ]

7-stappenplan (RCM):

1. Functionaliteit
2. Functievervuller
3. Faalmechanismen
4. Faaloorzaken
5. Gevolgen van het falen
6. Risico van het falen
7. Beheersmaatregelen

- Ontwerpfase (toetsen/onderzoeken of het systeem wel aan de eisen voldoet) > ontwerp aanpassen (Optimalisatie ontwerp)
- Beheerfase (toetsen/onderzoeken of het systeem wel aan de eisen voldoet) > modificatie bestaande systeem. Input voor onderhoudsplan (OHC/OHP/OHA)





## 2/2 Toelichting FMECA

### Regels functionele decompositie:

- Denk vanuit de klantvraag;
- De functie is beschreven als werkwoord;
- Functionele eisen zijn de voorwaarden voor de functievervuller;
- De functievervuller is een zelfstandig naamwoord.



***Functie***



**Functie is:**

- **Werkplek creëren**

***Functie-Eisen***

**Functie-Eisen**  
(specificaties)

**Bijvoorbeeld:**

- **hoogte 1,00m**

***Functie Vervuller(s)***  
=  
***Oplossing***

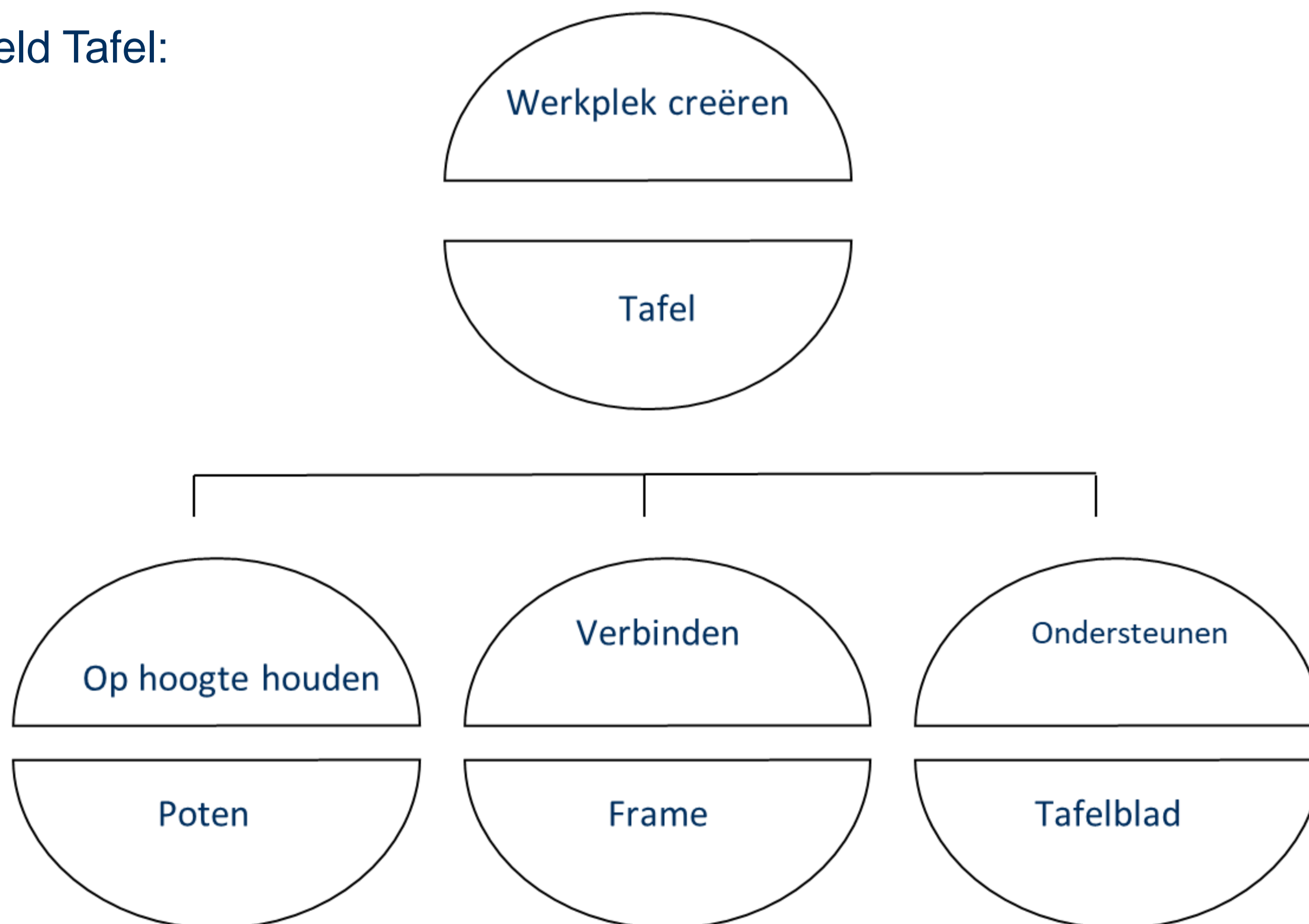
**Functie vervuller:**

- **Tafel**



## 2/3 Toelichting FMECA

Voorbeeld Tafel:





## 2/4 Toelichting FMECA

Faalmechanismen  
Faaloorzaken  
Gevolgen van het falen  
Risico van het falen

### Faalmechanismen:

Het niet kunnen vervullen van (een deel van) de functie.

### Faaloorzaken:

De reden dat (een deel van) de functie niet beschikbaar is

Risico van het falen  
=  
Kans X Ernst

### Gevolgen van het falen

RISICOMATRIX							③④ Kans op storing met gevolg <small>(Inschatting functioneel falen zonder onderhoud)</small>				
① Potentieel gevolg							1	2	3	4	5
Ernst	1. (A) Availability / Beschikbaarheid	2. (M) Maintenance / Onderhoudbaarheid	3. (S) Safety / Veiligheid	4. (H) Health / Gezondheid	5. (E) Environment / Compliance/ Omgevingscomfort	6. (EC) Effect costs / Gevolgkosten	Eens per 50 jaar (of vaker)	Eens per 10 jaar (of vaker)	Eens per jaar (of vaker)	Eens per maand (of vaker)	Eens per week (of vaker)
	②	Beschikbaarheid blijft intact, geen effect op doorstroming	Lokaal herstel eenvoudig uitvoerbaar	Geen gevolgen	Geen gevolgen	Geen gevolgen	Gevolggkosten tussen €0,- en €100,-	1	2	3	4
2	Beschikbaarheid blijft intact, herstel in eerst volgende afsluiting	Herstel met extra inspanning (bijvoorbeeld door speciaal gereedschap, of wachten op reservedelen)	Het falen leidt direct of indirect tot ongelukken met niet-blijvend letsel zonder verzuim bij één of meer personen	Op termijn gezondheidshinder bij één of meer personen	Verwaarloosbare gevolgen voor flora en fauna	Gevolggkosten tussen €100,- en €10.000,-	2	4	6	8	10
3	Beschikbaarheid blijft intact, herstel binnen 7 dagen.	Herstel met veel inspanning (bijvoorbeeld door forceren van toegang voor uitvoeren onderhoud of wachten op speciaal te fabriceren reservedelen of vergunningen)	Het falen leidt direct of indirect tot ongelukken met niet-blijvend letsel met medische assistentie/ ziekenhuis opname bij één of meer personen	Op termijn tijdelijke gezondheidsschade bij één of meer personen	Beperkte gevolgen voor flora en/of fauna; geen maatregel nodig, het lost vanzelf op	Gevolggkosten tussen €10.000,- en €100.000,-	3	6	9	12	15
4	Beschikbaarheid blijft intact, herstel binnen 24 uur.		Het falen leidt direct of indirect tot ongelukken met blijvend letsel bij één persoon	Op termijn blijvende gezondheidsschade bij één persoon	Grote gevolgen voor flora en/of fauna; maatregelen nodig om erger te voorkomen	Gevolggkosten tussen €100.000,- en €500.000,-	4	8	12	16	20
5	Geen beschikbaarheid, geen doorstroming, direct herstel	Herstel weegt niet meer op tegen economische levensduur van het object; andersoortige maatregelen zijn noodzakelijk (bijv. grootscheepse vervanging)	Het falen leidt direct of indirect tot ongelukken met: - blijvend letsel bij meer personen, of - fataal letsel bij één of meer personen	Op termijn: - blijvende gezondheidsschade bij meer personen - fatale gezondheidsschade bij één of meer personen	Ernstige, langdurige gevolgen voor flora en fauna; grootscheepse maatregelen noodzakelijk	Gevolggkosten > €500.000,-	5	10	15	20	25





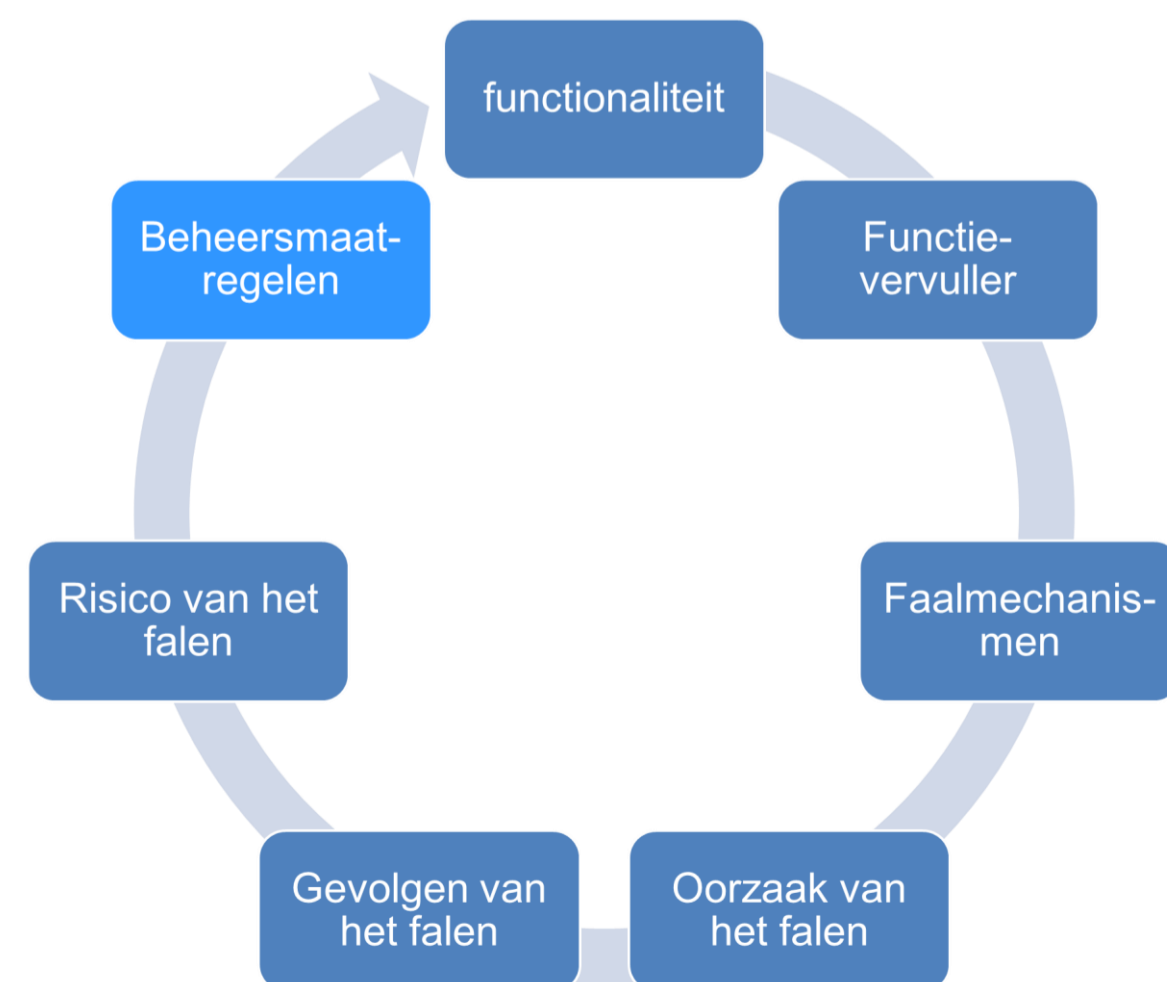
## 2/5 Toelichting FMECA

### Beheersmaatregelen

Proces:  
OH-strategie  
Reservedelen  
SLA's

Organisatie:  
1<sup>e</sup>/2<sup>e</sup> lijns organisatie  
Opleidingen  
Procedures

Techniek:  
Modificatie  
Monitoring



### Onderhoudsstrategie:

**SAO** (storingsafhankelijk onderhoud)  
**GAO** (gebruiksafhankelijk onderhoud)  
**TAO** (toestandsafhankelijk onderhoud)  
**MOD** (modificatie)



## 2/6 Toelichting FMECA

### DEFINITIES:

#### Toestandsafhankelijk onderhoud

Voor toestandsafhankelijk onderhoud (TAO) moet de conditie van de asset meetbaar zijn en moet er een zogenoemd P-F-interval (potential to functional failure interval) beschikbaar zijn. Binnen dit interval is het toekomstig falen meetbaar en voorspelbaar in de tijd. Ook moet er voldoende tijd zijn om te kunnen ingrijpen. Zo heeft een P-F-interval van 5 minuten weinig praktische waarde. Een P-F-interval van 4 weken heeft dat wel. Een onderhoudsmanager kan dan besluiten om driewekelijks te inspecteren. Dan is er in het ongunstigste geval altijd nog een week om in te grijpen en falen te voorkomen. Het onderhoud is in deze situatie technisch haalbaar. Maar de onderhoudsmaatregel moet ook 'economisch de moeite waard' zijn. Stel dat de driewekelijkse inspecties erg veel geld kosten en niet in verhouding staan tot de faalkosten, dan ligt een andere beheersmaatregel meer voor de hand.

#### Gebruiksduurafhankelijk onderhoud

Gebruiksduurafhankelijk onderhoud van kritieke assets vindt plaats als goed te voorspellen is wanneer een asset gaat falen, of als het op vaste tijden preventief vervangen van onderdelen goedkoper is dan curatief vervangen bij falen. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn bij het vervangen van lagers en het conserveren van staalconstructies.

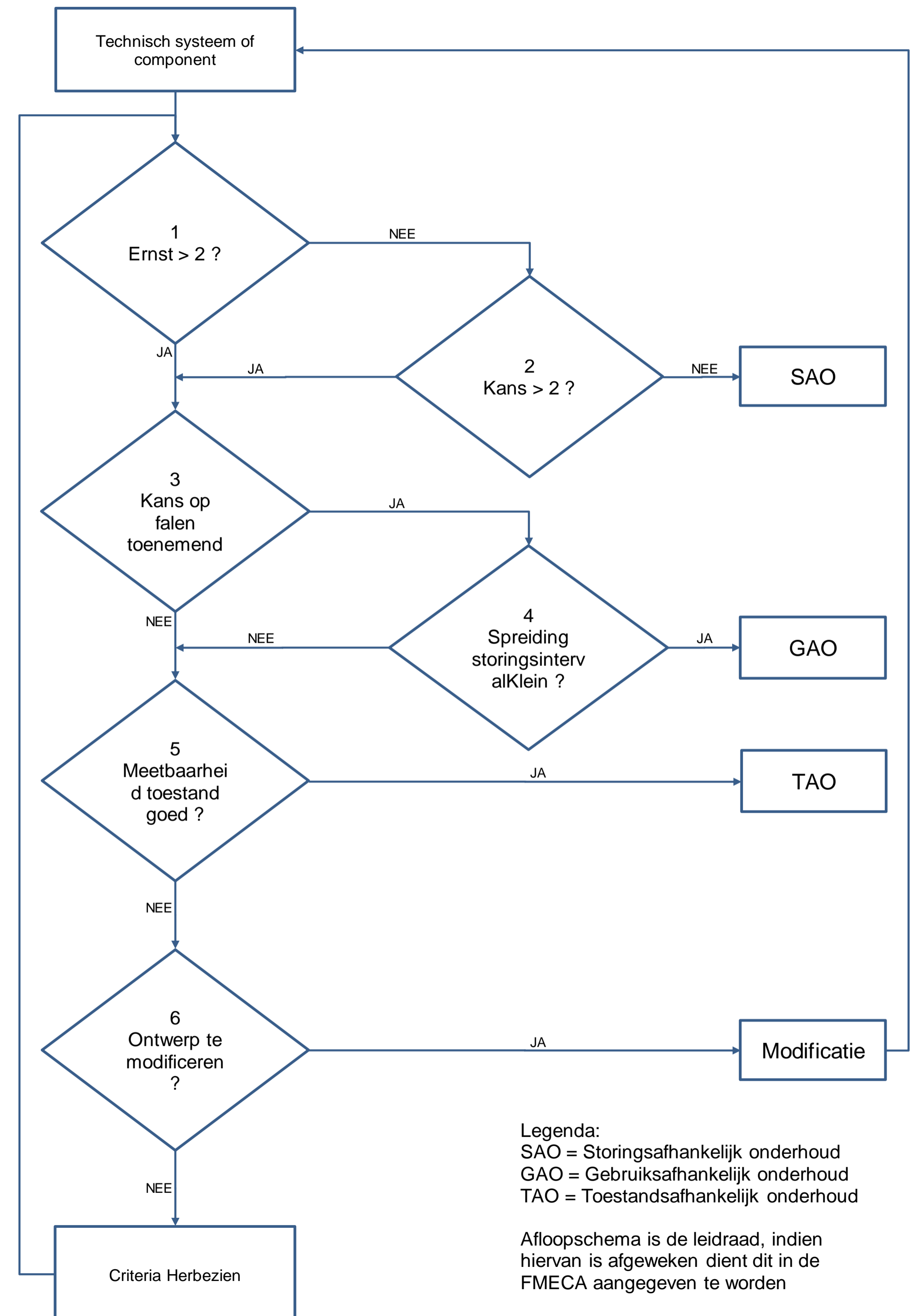
Het is ook mogelijk dat de levensduur niet goed te voorspellen is, maar dat er wel een schatting kan worden gemaakt aan de hand van conditiemetingen. In dat geval is toestandsafhankelijk onderhoud (TAO) meer geschikt. De keuze tussen TAO en GAO vindt plaats op basis van een economische analyse.

#### Storingsafhankelijk onderhoud

Storingsafhankelijk Onderhoud (SAO) vindt in het algemeen plaats wanneer een asset(onderdeel) niet kritiek is en mag falen. Denk bijvoorbeeld aan een reguliere drinkwaterdistributieleiding, of aan de lamp in het toilet van het brugwachtershuisje. In het laatste voorbeeld kan, door ervoor te zorgen dat een reservelamp onder handbereik is, de storing snel verholpen worden.

SAO is niet hetzelfde als correctief onderhoud. Correctief onderhoud is het repareren van kritieke assets die hebben gefaald. Deze mogen in principe niet falen. Incidenteel kan dit toch gebeuren, omdat niet alle faalvormen te voorspellen zijn. Bij SAO mogen de assets wel falen.

Het is niet gezegd dat voor niet-kritieke assets SAO altijd de beste onderhoudsstrategie is. Als de faalkosten hoger zijn dan de kosten van verzorgend onderhoud, dan ligt TAO of GAO voor de hand.





## 3/1 Aanpak FMECA's Maastunnel

- Aanleiding nieuw 15 jarig onderhoudscontract
- Geen onderhoudseisen gedefinieerd maar o.b.v. FMECA een onderhoudsplan laten opstellen door toekomstig onderhoudspartij
- Om de onderhoudsplannen te actualiseren was er noodzaak de FMECA(s) uit te breiden + bij te werken
  - Actualiseren bestaande FMECA's (36 stuks)
  - Opstellen nieuwe FMECA's (11 stuks)
- Uitgevoerde werkzaamheden:
  - Bestaande FMECA's omgezet naar een nieuw gestandaardiseerde template
  - Risicomatrix herijkt naar de doelstellingen van de gemeente Rotterdam
  - Nieuw RCM beslismodel geïmplementeerd t.b.v. bepalen onderhoudsstrategie
  - Reviewproces ingericht met de gemeente Rotterdam



## 3/2 Aanpak FMECA's Maastunnel

### Positionering FMECA's in de levenscyclus van de Maastunnel

Fase	Conceptfase		Ontwerpfase		Realisatiefase		Exploitatiefase	Uitfasering & Transitiefase				
	Haalbaarheidsstudie	Concept baseline	Voorlopig ontwerp	Definitief ontwerp	Realiseren	Ingebruikname	Operatie en Instandhouding	Afstoten en Hergebruik				
	Functionele uitgangspunten		Systemen		Subsystemen		Subsysteem items		Systemen		Asset systemen	
Focus	Input leveren op de onderhoudsbaarheids- en onderhoudseisen.		Invloed uitoefenen op het ontwerp om de gestelde organisatiedoelstellingen te bereiken binnen de gestelde kaders voor prestaties, risico's en kosten.		Identificeren van de mogelijke problemen, of falen die gedurende de realisatie en ingebruikname kunnen optreden en verholpen dienen te worden voor start exploitatiefase.		Zorgdragen voor continue verbetering van de assetprestaties i.r.t. risico's en kosten. Input leveren voor mogelijke hergebruik of afstoting van een asset					
Output	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uitvoeren LCC raming</li> <li>• Concept                             <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Betrouwbaarheidsanalyse</li> <li>◦ Beschikbaarheidsanalyse</li> <li>◦ Onderhoudsbaarheidsanalyse</li> <li>◦ Systeem FMECA</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geupdated                             <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Betrouwbaarheidsanalyse</li> <li>◦ Beschikbaarheidsanalyse</li> <li>◦ Onderhoudsbaarheidsanalyse</li> <li>◦ FMECA's op systeem en item niveau</li> </ul> </li> <li>• Basis Onderhoudsconcept (strategie, planning, kosten)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Complete identificatie van de te onderhouden items</li> <li>• Gedetailleerd                             <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Onderhoudsconcept (strategie, planning, kosten)</li> <li>◦ Reservedelenplan</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uitvoeren onderhoudsanalyses                             <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Verificatie van de ontwerp uitgangspunten (RAMS)</li> <li>◦ Root Cause Analysis (RCA)</li> <li>◦ Analyseren onderhoudskosten</li> </ul> </li> <li>• Input leveren voor, of doorvoeren van, instandhouding optimalisaties (onderhoudsconcept, processen, documentatie, training etc.)</li> </ul>					

\* Bron NEN-EN 17666



## 3/3 Aanpak FMECA's Maastunnel

### Aanpak bestaande FMECA's

- Bestaande FME(C)A's verrijken op basis van de as-built gegevens
- Analyse storingsgegevens (t.b.v. risico-inschatting)
- Schouwronde om additionele (detail) informatie te verkrijgen

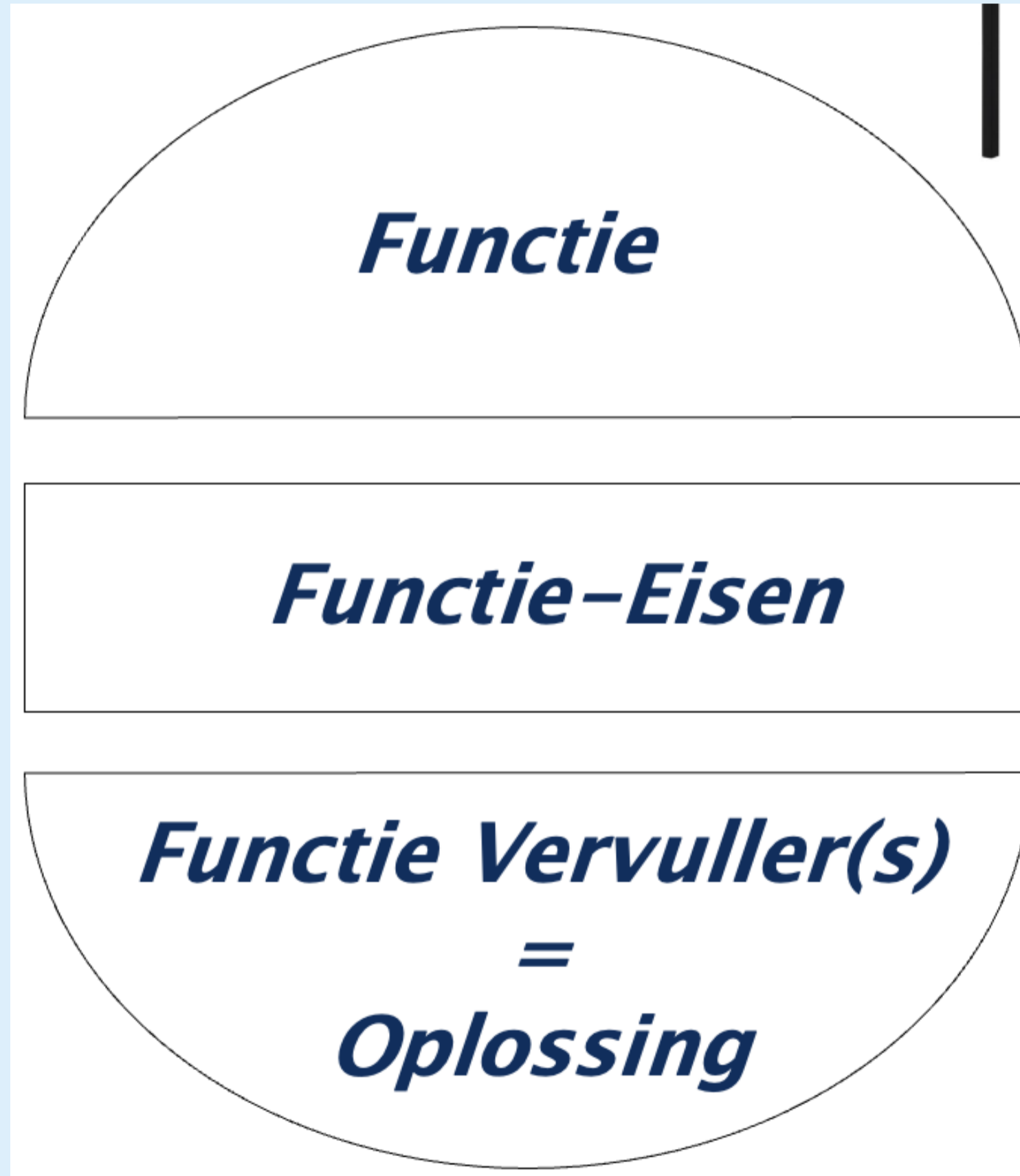
### Aanpak nieuwe FMECA's

- Op basis van de aanwezige as-built gegevens en schouwronde initiële FMECA opgesteld
- Uitvoeren FMECA sessies met de betrokken kennishouders binnen de gemeente Rotterdam en leveranciers
- Verwerken review commentaar tot definitieve versie



# 4/1 Workshop FMECA Roltrappen

## Definieer de functie



**Vervoeren van personen tussen twee niveaus in op- en neerwaartse richting**

**x aantal personen per x uur**

**Roltrap**



## 4/2 Workshop

### Decompositie opstellen



Roltrap



Roltraptreden



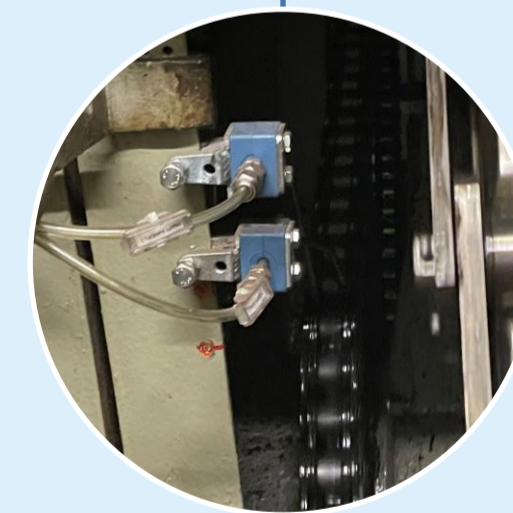
Leuningband



Kettingsmeersysteem



Spaninrichting



Spuitmond



Compressor



## 4/3 Workshop

### Uitwerken Functioneel falen en Faalwijze



**We zien hier een spaninrichting die de leuningband van de roltrap op spanning houdt.**

- 1. Definieer de functie van de spaninrichting?**
- 2. Wat is dan het functioneel falen?**
- 3. Wat zou de mogelijke faalwijze kunnen zijn?**



## 4/3 Workshop

### Uitwerken Functioneel falen en Faalwijze



#### Tip 1:

Functioneel falen beschrijft het niet voldoen aan de gestelde functie.

bv een motor heeft de functie van aandrijven.

Het functioneel falen is dan niet aandrijven

#### Tip 2:

Faalwijze beschrijft de manier waarop een component kan falen.

Faalwijze van een motor zou kunnen zijn:

- start niet
- stopt niet
- draait te langzaam
- etc.



## 4/3 Workshop

### Uitwerken Functioneel falen en Faalwijze



Regel		Identificatie asset			Identificatie Falen	
Nummer	Component / Bouwdeel	Component / Bouwdeel code (indien van toepassing)	Sub component	Functie(s):	Functioneel falen	Faalwijze (faalmode):
17	Leuningband		(2st. per roltrap) Leuningband	De leuningband draagt bij aan het bewaren van balans op de roltrap.	Geen balans op roltrap door breuk leuningband.	Leuningband versleten
18	Leuningband spaninrichting		(2st. per roltrap) Spaninrichting	Mechanische inrichting voor het op spanning brengen van de leuningband.	Leuningband niet op spanning.	Spaninrichting verlopen
19	Roltrap treden		(200st.) Tredeplank	Dragen roltrap gebruikers.	Roltrap gebruikers worden niet meer gedragen.	Tredeplank beschadigd
20	Roltrap treden		(4st. per tredeplank) trede + kettingwielen	Geleiden tredeplank.	Tredeplank wordt niet meer geleid.	Lager vast
21	Inloopbeveiliging leuningband		(4st. per roltrap) Schakelaar	Uitschakelen roltrap bij beknelling leuningband	Roltrap wordt niet uitgeschakeld.	Schakelaar defect



# 4/4 Workshop

## Uitwerken faaloorzaken/mechanisme, gevolgen van falen

				Effecten	
Functie(s):	Faaloorzaak:	Faal mechanisme:	Storingstype:	Lokale effecten van falen:	Eind effecten van falen:
De leuningband draagt bij aan het bewaren van balans op de roltrap.	Normaal gebruik (normale slijtage)	Mechanische slijtage, - breuk, - vervorming	Geleidelijk		Breuk in leuningband leidt tot uitschakeling roltrap.
Mechanische inrichting voor het op spanning brengen van de leuningband.	Normaal gebruik (normale slijtage)	Mechanische slijtage, - breuk, - vervorming	Geleidelijk		Leuningband niet meer op spanning. Uitschakeling roltrap door leuningbandcontact.
Dragen roltrap gebruikers.	Externe oorzaak	Mechanische slijtage, - breuk, - vervorming	Plotseling		Bij beschadigingen aan de treeplank wordt de roltrap handmatig uitgeschakeld.
Geleiden tredeplank.	Normaal gebruik (normale slijtage)	Mechanische slijtage, - breuk, - vervorming	Geleidelijk		Roltrap raakt mechanisch beschadigd.
Uitschakelen roltrap bij beknelling leuningband	Normaal gebruik (normale slijtage)	Mechanische slijtage, - breuk, - vervorming	Geleidelijk		Roltrap wordt niet uitgeschakeld. Grote kans op lichamelijke letsel.

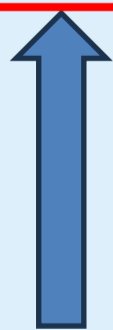




# 4/5 Workshop

## Inschatten risico, onderhoudsstrategie en maatregelen

Functie(s):	Risico				Faalgedrag			Onderhoudsstrategie			Herstelmaatregelen			Beheersmaatregelen				Risico na beheersmaatregelen				Opmerkingen
	Inteel gevolg	ns van optreden	st van falen	Risico Prioriteitsnummer (RPN)	Kans op falen toenemend in de tijd	Spreading storingsinterval klein	Meetbaarheid toestand goed?	Voorstel Onderhoudsstrategie	Gekozen onderhoudsstrategie	Reden afwijking onderhoudsstrategie	Correctieve maatregelen	MTTR (uren)	Hand on tool time (minuten)	Preventieve maatregelen	MTTM (minuten)	MTBM (X keer per jaar)	Overige maatregelen (o.a. reserve-delen, procesafspraken)	Inteel gevolg	ns van optreden	st van falen	Risico Prioriteitsnummer (RPN)	Opmerkingen
De leuningband draagt bij aan het bewaren van balans op de roltrap.	M	2	3	6	Ja	Nee	Ja	TAO			Vervangen	672	480	Inspecteren	5	365	Dagelijks inspecteren op droogte scheuren	M			0	Leuningbanden worden om de 5 á 7 jaar preventief vervangen
Mechanische inrichting voor het op spanning brengen van de leuningband.	M	3	2	6	Ja	Nee	Ja	TAO			Afstellen/vastzetten	4	120	Inspecteren	10	12		M			0	





## 5/1 Vragen / discussie





# Referenties

- Zaal T. (2009), Integrated Design and Engineering as a Business Improvement Process (1st edition), Maj Engineering Publishing, ISBN 978-90-79182-03-9.
- Smith, David J, (2005), Reliability Maintainability and risk: Practical Methods for engineers, Elsevier Ltd, 7e edition, 2e impression, ISBN 978-0-7506-6694-7.
- Moubray, John, (1997), Reliability-centred Maintenance, Elsevier Ltd, 2e edition, 10e impression, ISBN 978-0-7506-3358-1
  
- NEN-EN 17666-2022, Maintenance - Maintenance engineering – Requirements
- NEN-EN 50126, 1999, ICS 29.280; 45.020, Railway applications-The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)
- NEN-EN-IEC 60812-2, 2006, Analyses techniques for system reliability - Procedure for failure mode and effects analysis