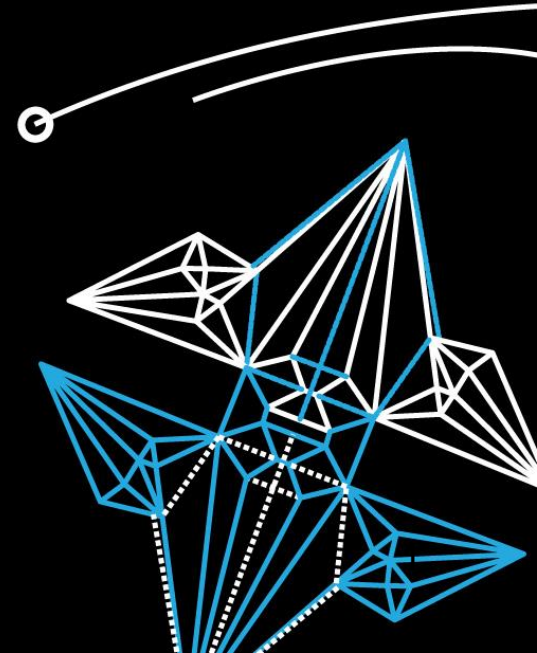
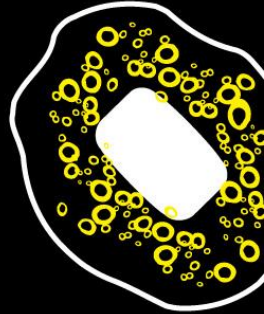


UNIVERSITEIT TWENTE.

# PREDICTIVE MAINTENANCE - EEN DYNAMISCH VAKGEBIED

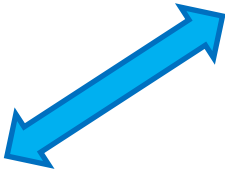
Lancering KIVI leerstoel Dynamis based Maintenance

Prof. dr. ir. Tiedo Tinga

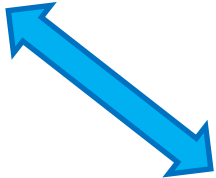




**UNIVERSITEIT TWENTE.**  
Dynamics based Maintenance



**Nederlandse Defensie Academie**  
*Ministerie van Defensie*



**UNIVERSITEIT TWENTE.**  
TIME – Maintenance Consortium

# INHOUD

---

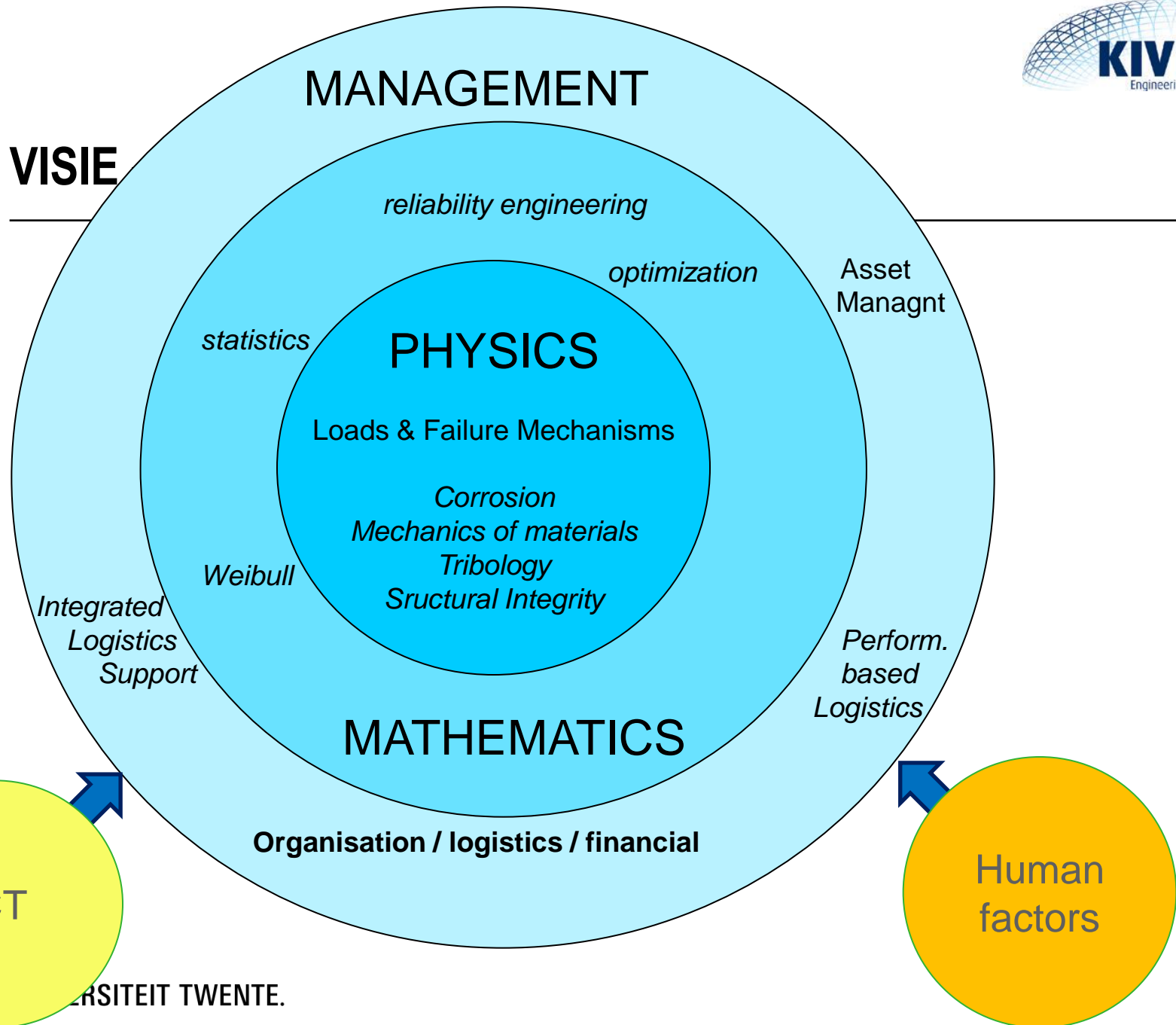
- Visie op onderhoud
  
- Dynamics based Maintenance
  - Predictive maintenance
  - Modelleren faalmechanismen
  - Toepassingen
  
- Maintenance op UT
  - Onderzoek
  - Onderwijs
  
- Invulling KIVI chair

# STATUS VAN ONDERHOUD

---

- **INDUSTRIE**
  - Conservatief & traditioneel
  - Trendbreuk door:
    - verouderende systemen / economische crisis
  - Onderhoud moet slimmer en goedkoper
  - Onderhoud kan business opleveren
  
- **OPLOSSING**
  - Innovatieve onderhoudsconcepten
  - Innovatie & onderzoek
    - nieuwe technologie ontwikkelen
    - combineren en toepassen (van nieuw en bestaand)





## VISIE (2)

---

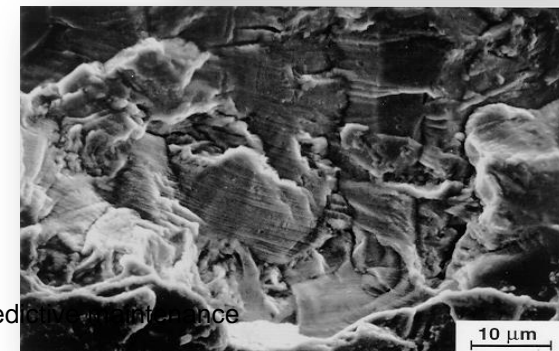
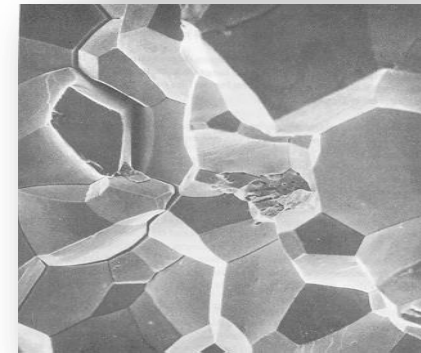
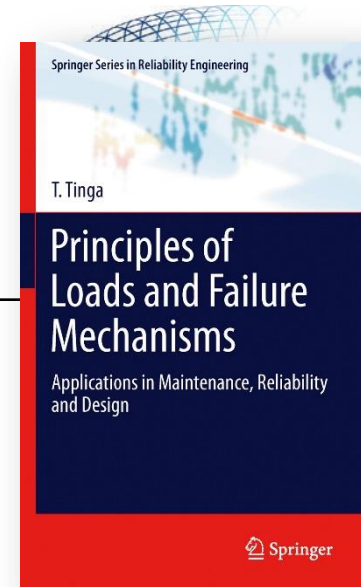
- Begin bij de basis → fysisch faalgedrag blijven begrijpen !
- Eerst nadenken, dan meten / analyseren

Voorbeeld: Data analytics / Big Data

- Veel data verzamelen (veel bronnen, willekeurig ?)
- Verbanden zoeken zonder voorkennis



- Veel rekenkracht nodig
- Verbanden niet altijd realistisch
- Interpretatie lastig voor data analyst



# **DYNAMICS BASED MAINTENANCE**

# ONDERZOEKSTHEMA'S

---

## DYNAMICS BASED MAINTENANCE

- Gebruik dynamische respons van systemen om conditie te bepalen
  - **Structural dynamics** (mode shapes, natural frequencies) for static structures
  - **Vibration** analysis for rotating equipment (bearing, gear, compressor, pump)

## DYNAMIC MAINTENANCE → PREDICTIVE MAINTENANCE

- Verbeter preventief onderhoud d.m.v. begrip van faalgedrag
  - **Model-based** (loads & failure mechanisms) vs. **experience-based** (data analysis)

## MAINTENANCE OPTIMIZATION

- Ontwikkeling + optimalisatie van **maintenance concepts**
- Ontwikkeling van **decision support tools**



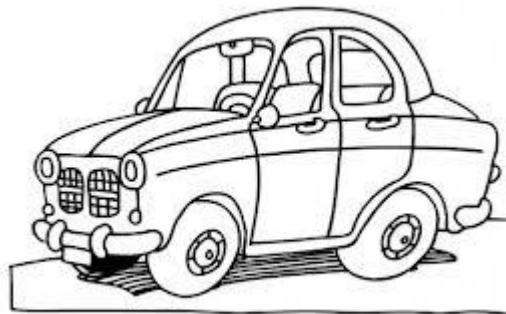
# DYNAMISCH ONDERHOUD

---

- Just-in-time maintenance
  - niet te vroeg → duur
  - niet te laat → storingen



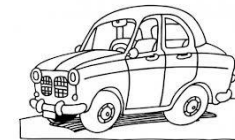
- Afstemmen op gebruik !



# EXPERIENCE BASED

---

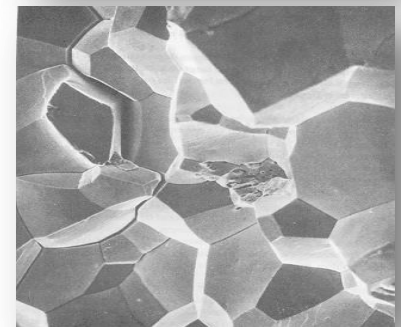
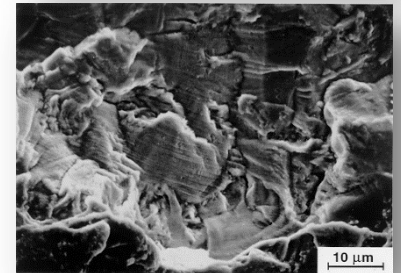
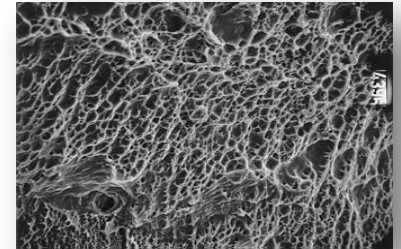
- Traditionele aanpak
    - Data-driven methoden → 'big data'
    - Statistiek op faaldata → reliability engineering
    - Inschatten van gebruiksprofiel door OEM
  
  - Nadelen
    - Slechts wiskundige fit
    - Voldoende faaldata ?
    - Representatief ?
- beperkte voorspelbaarheid bij variabele condities



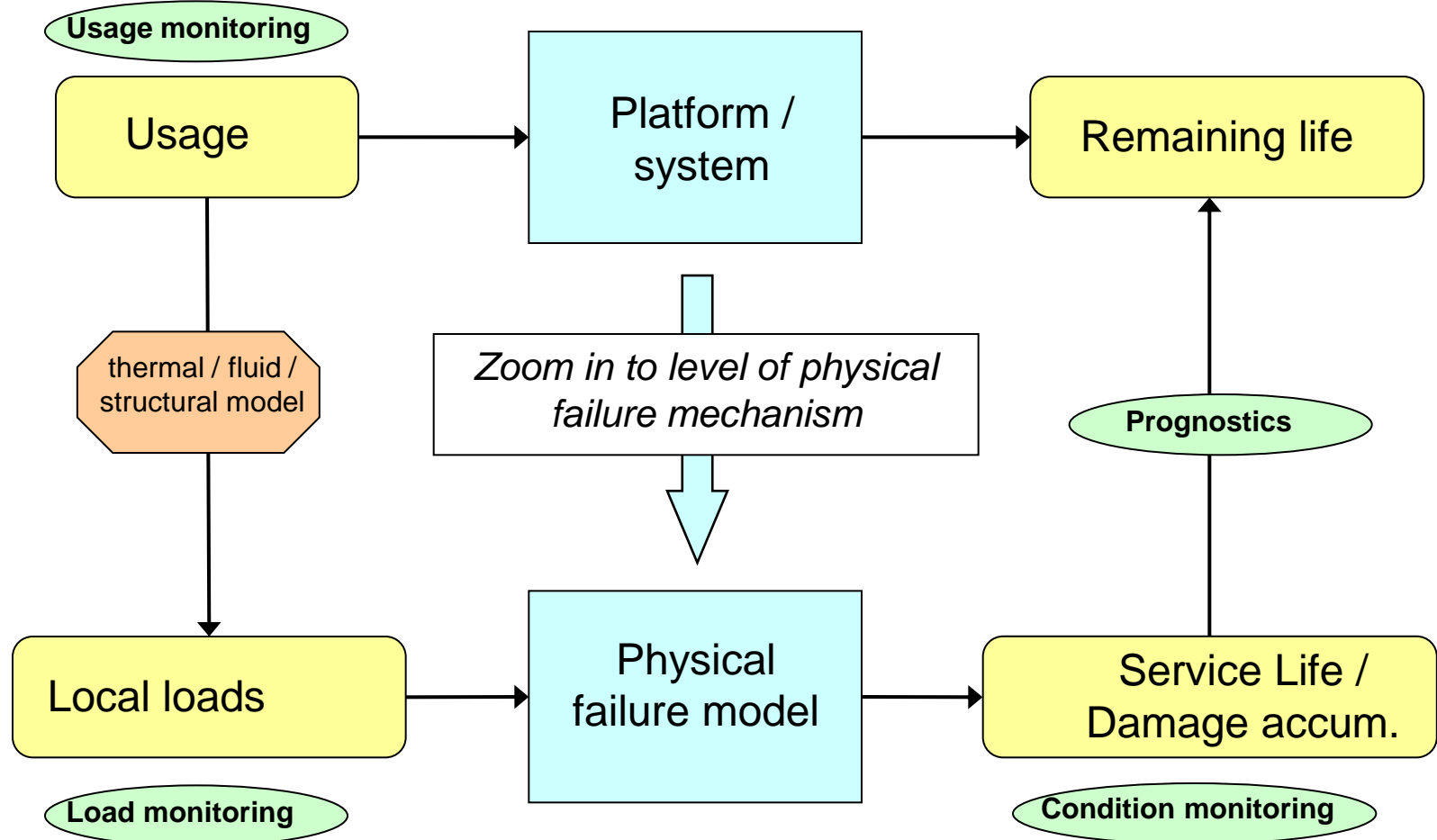
# MODEL BASED

---

- Gebruik kennis van fysische faalmechanismen
    - Waarom, wanneer, hoe falen componenten ?
    - Wat is effect van gebruik / belasting op falen ?
  - Key benefit: relatie gebruik – levensduur gekwantificeerd
    - Gebruiks- / belastingsregistraties nodig (monitoring !)
    - Kwantitatief model levensduur nodig
- Veel betere voorspelling mogelijk



# RELATIE GEBRUIK EN DEGRADATIE



# TOEPASSINGEN

# PROGNOSTICS NH-90 HELIKOPTER

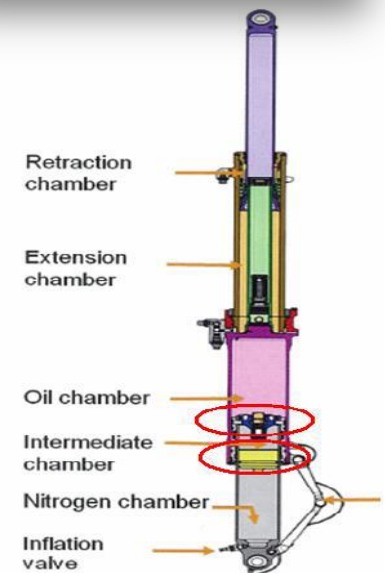
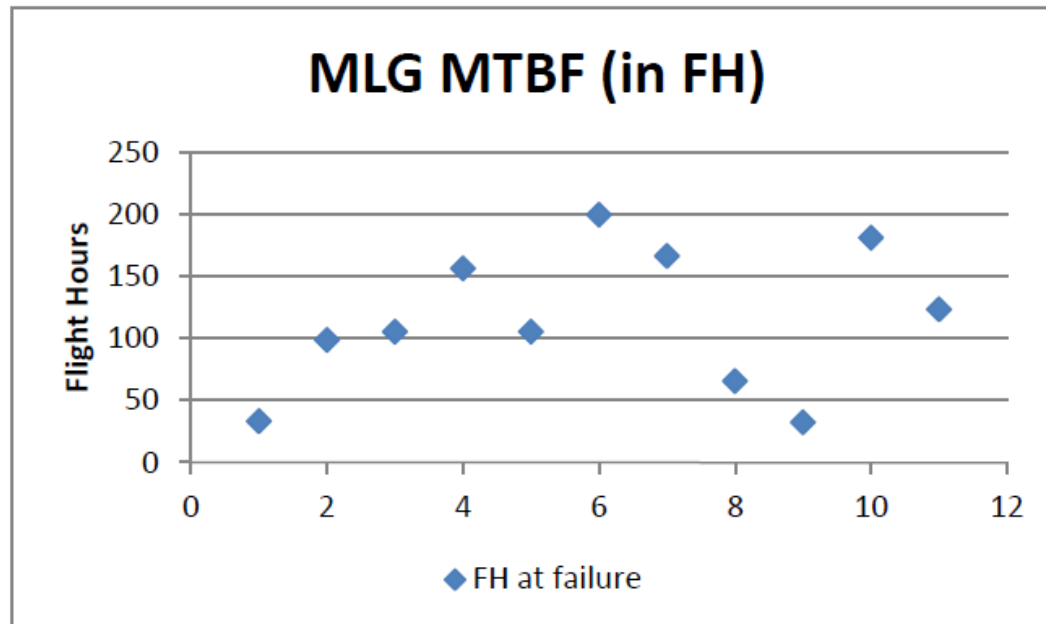
---

- HUMS systeem voor monitoring
  - Usage → flight hours, landings, conditions
  - Health → trillingsniveaus
- Maar - Onderhoud o.b.v. vlieguren / kalendertijd !?
- Aanpak
  - Bepaal kritische componenten → cost drivers / availability killers
  - Stel belastingen & faalmechanismen vast



# PROGNOSTICS NH-90 HELIKOPTER

- *Landing gear shock absorber* is kritisch
- Slechte voorspelbaarheid o.b.v. vlieguuren



# PROGNOSTISCH MODEL

- **Faalmechanisme**

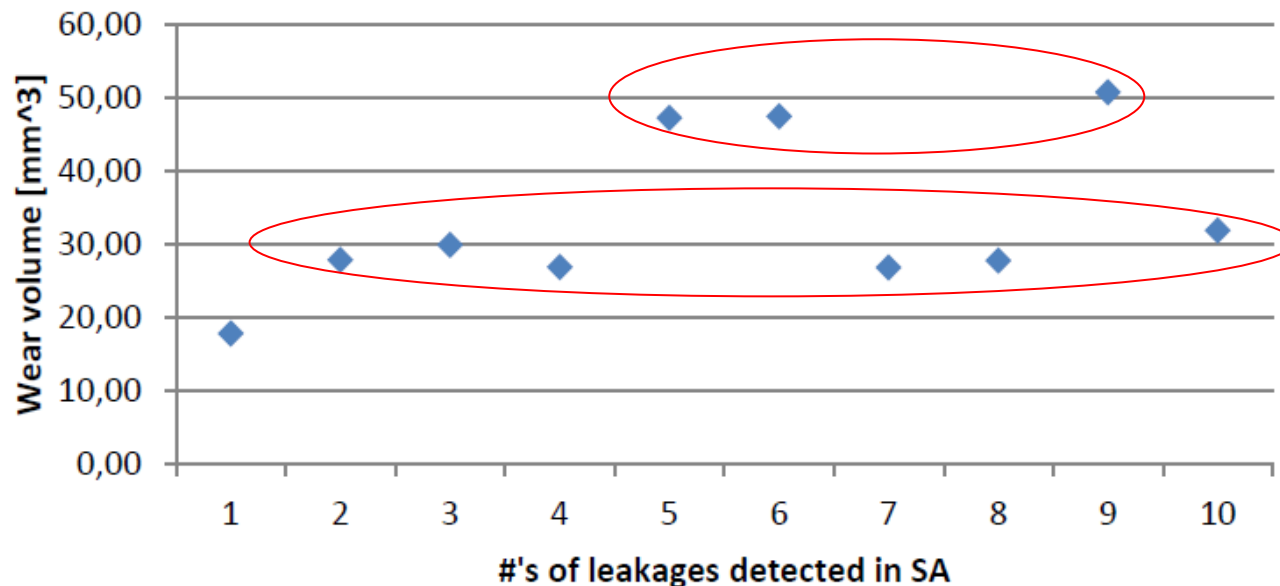
slijtage van seal (olie lekkage)

- Archard's law  $V_i = k_i F S$

- **Belasting**

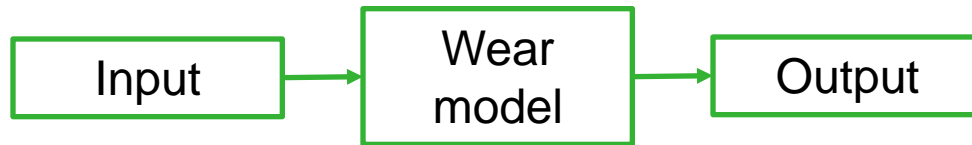
afgelegde afstand

- # landingen + gewicht





# PROGNOSTICS RAIL SLIJTAGE

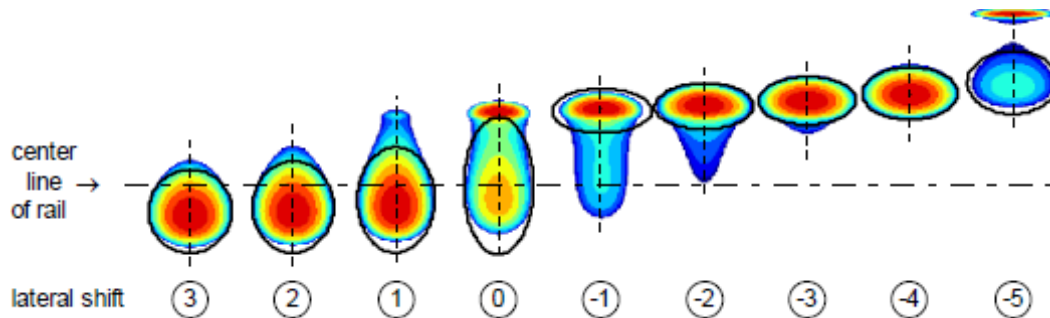


Wear coefficient  $k_w$   
 Contact pressure  $p$   
 Sliding distance  $s$   
 Hardness  $H$

Archard's law  

$$\Delta z = k_w * \frac{p * s}{H}$$
 (Archard, 1953)

Wear depth  $\Delta z$  → RUL(usage)  
 Wear rate  $\Delta \dot{z}$



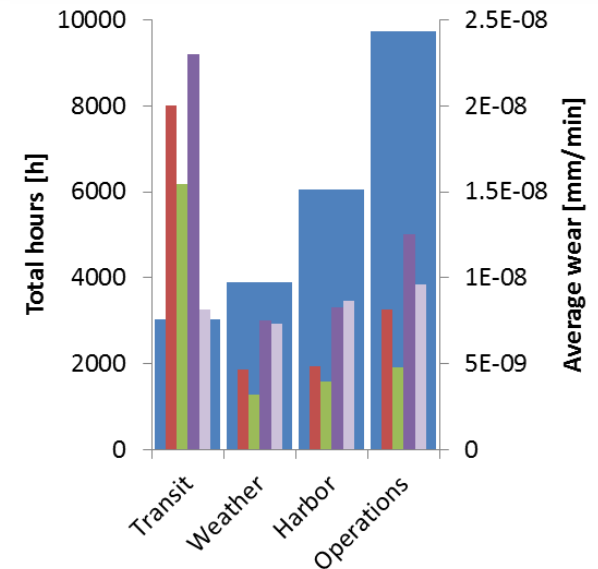
Source: PhD thesis: R. Popovici, 2010

# PROGNOSTICS SCHEEPSDIESELS

- Model voor slijtage cilindervoering

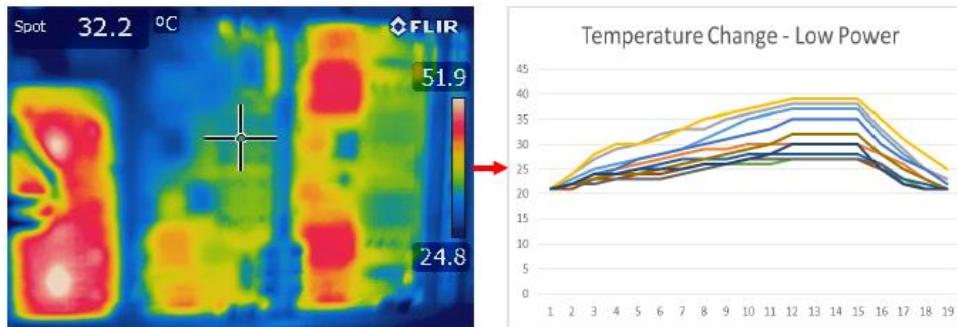


- Uitdaging: invloedsfactoren → voorspellen !
  - Gebruksprofielen
  - Weer
- Voorspelling niet altijd direct bruikbaar  
→ onderhoud vaak geclusterd



# OOK VOOR ELEKTRISCHE SYSTEMEN

- Methode levensduurvoorspelling Printed Circuit Boards (PCB)
- Meten van belastingen
  - Trillingen
  - Temperatuur(wisselingen)



- Indicatie levensduur voor diverse gebruikspatroon

# PREDICTIVE MAINTENANCE PROJECTEN

---

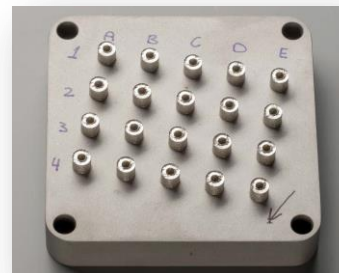
## AANPAK GENERIEK

- Vaststellen faalmechanismen en belastingen
- Levensduurmodel opzetten
- Gebruik en/of belastingen monitoren



## NIEUWE TOEPASSINGEN

- Off-shore windturbines (IX-wind, Joulz)
- Waterleiding netwerk (Wetsus)
- Productiefaciliteiten - *Smart Industry* (Tata steel)
- Additive Manufacturing (SINTAS)



# MAINTENANCE @ UTWENTE

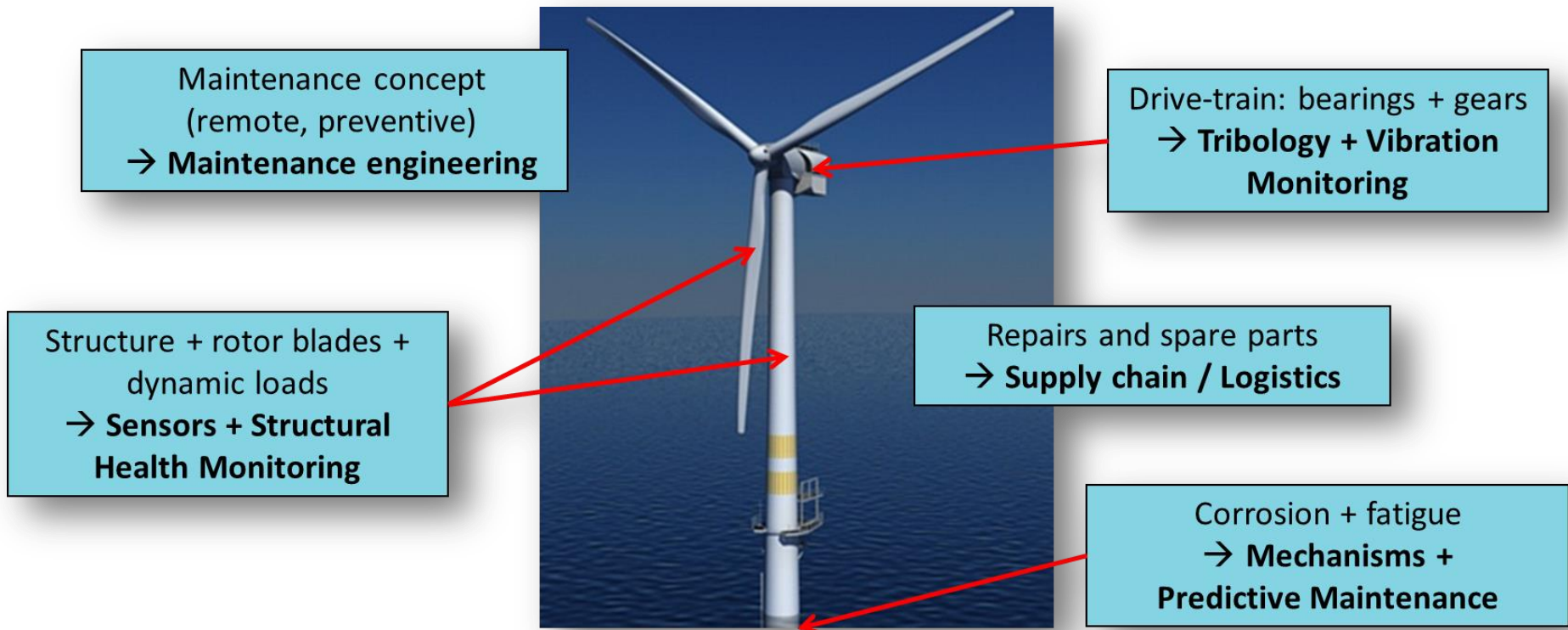
# TIME – MAINTENANCE CONSORTIUM

---

- Twente Is Maintenance Excellence – **TIME**
- 6 samenwerkende leerstoelen:
  - Dynamics based Maintenance (prof. T. Tinga)
  - Tribology based Maintenance (prof. P. Lugt)
  - Maintenance Engineering (prof. L. van Dongen)
  - Construction Management & Engineering (prof. A. Doree)
  - Supply Chain Management (prof. H. Zijm) - **BMS**
  - Pervasive Systems (prof. P. Havinga) - **EWI**
- Samen dekken we alle relevante disciplines van onderhoud af
- Gezamenlijk 15 staf / 30 PhD+PD / 10 PDEng



# VOORBEELD MULTIDISCIPLINAIRE AANPAK



# ONDERWIJS

---

## **SPECIALISATIE MAINTENANCE ENGINEERING & OPERATIONS (MEO)**

- In Master Mechanical Engineering en Industrial Engineering
- MSc thesis on maintenance subject + core courses:
  - Maintenance Engineering and Management
  - Failure Mechanisms and Life Prediction
  - Structural Health and Condition Monitoring
  - Design for Maintenance
  - Reverse logistics and remanufacturing

## **PDENG PROGRAM**

- 2-jarig technisch traineeship – 1 jr vakken / 1 jr ontwerpopdracht
- “technische MBA”



# INVULLING KIVI LEERSTOEL

# VERBINDING WETENSCHAP EN INDUSTRIE

---

- Meerwaarde van verbinding
  - Industrie kan ontwikkelde kennis en methodieken toepassen
  - Wetenschap krijgt (nieuwe) richtingen voor onderzoek

## Concrete invulling

- Bedrijven dienen maintenance uitdagingen in bij de KIVI leerstoel
- Periodiek brainstormsessie met klein groepje bedrijven + UT staf en onderzoekers / studenten
  - Nuttig voor bedrijven en onderzoekers / studenten
  - Uitkomst:
    - Probleem opgelost of oplossingsrichting duidelijk
    - Voor oplossing is nieuwe kennis / methodiek nodig → onderzoeksproject

# INTERACTIEVE SESSIE / WORKSHOPS

---

- Voorproefje op latere brainstormsessies
- Samen met collega's nadenken over onderhouds- / logistiek probleem

## Onderwerpen

1. Asset lifecycle Planning and Control
2. Spare Parts Management for the Chinook helicopter
3. Technologische mogelijkheden voor het monitoren van de kwaliteit van rioleringsstructuren
4. Wetenschappelijk instrumenten en hun waarde voor het onderhoud
5. Selectie van de meest geschikte vorm van condition monitoring

→ Indeling groepen n.a.v. voorkeuren en beschikbare ruimte

# PRESENTATIES 2<sup>E</sup> HELFT PROGRAMMA

---

- **Structural Health & Condition Monitoring**

- Dr. ir. Richard Loendersloot, Dynamics Based Maintenance

- **Asset Life Cycle Management**

- Prof. dr. ir. Leo van Dongen, Maintenance Engineering, World Class Maintenance, CTO NS

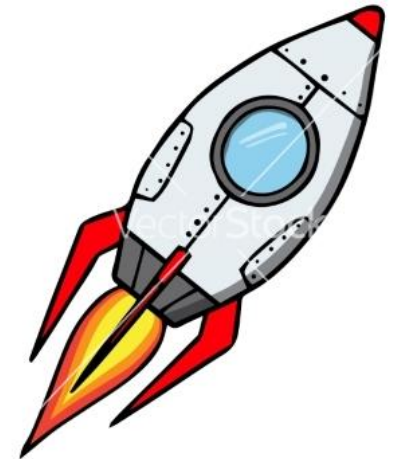
- **Internet of Things**

- Dr. ir. Nirvana Meratnia, Pervasive Systems

- **Service Supply Chains**

- Prof. dr. Henk Zijm, Productie en Supply Chain Management, IEBIS

sensoren  
trillingsanalyse  
thermografie  
maintenance  
data-analyse  
meten  
conditie  
CBM  
olieanalyse  
onderhoud  
temperatuur  
monitoring  
bewaking



# KIVI LEERSTOEL MAINTENANCE