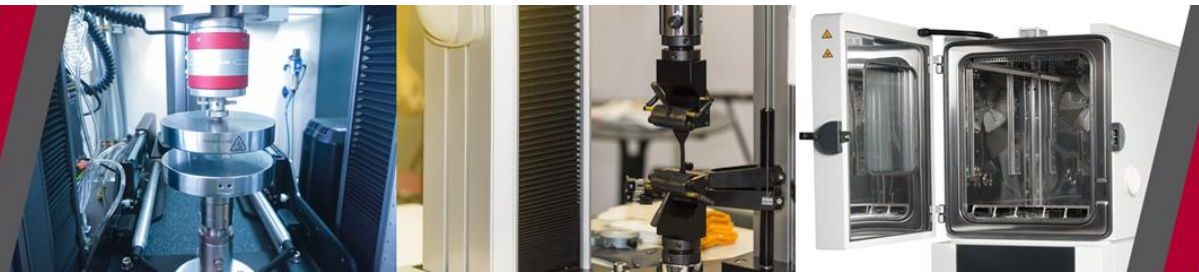


# Vermoeiings-onderzoek hergebruikt composiet

Dr. Ir. Albert ten Busschen  
Associate Lector  
Lectoraat Kunststoffotechnologie  
Hogeschool Windesheim



**PLOT SHOWCASE**  
12 OKTOBER 2023 — FHI LEUSDEN



# Inleiding tot het vermoeiingsonderzoek

- Probleem van End-of-Life thermoharde composieten
- Windesheim-methode van hergebruik als oplossing
- Toepassingsonderzoek (demonstrators)
- Onderzoek naar eigenschappen

## *Ontwikkeling hergebruik-methode*

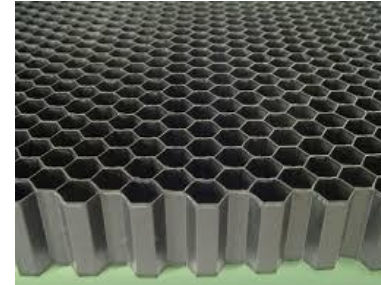
- *2015-2017 haarkbaarheid*
- *2017-2022 toepassing en industrialisatie (RAAK-projecten)*
- *2022-2023 Delta-premie, RAAK-Award, JEC-innovation award*
- *2022-heden onderzoek lange-duurgedrag (RAAK-project)*



**PLOT SHOWCASE**  
12 OKTOBER 2023 – FHI LEUSDEN

# Thermoharde composieten: vezelversterkte kunststoffen

- Versterkingsvezels (glas, koolstof, aramide)
- Thermoharde hars (polyester, epoxy)
- Kernmaterialen (schuim, honingraat)





# Thermoharde composieten: duurzame materialen

- Sterk en licht
- Weinig onderhoud
- Lange levensduur



# Thermoharde composieten: recycling uitdaging

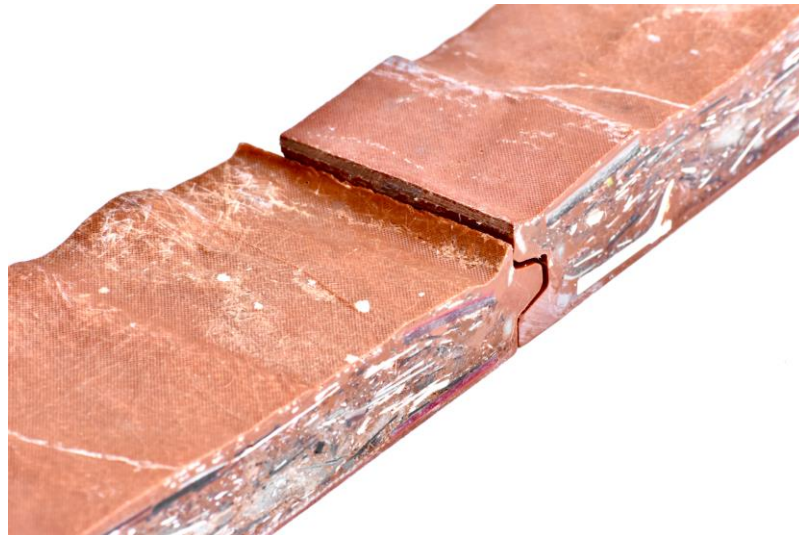
- Thermoharder kan niet smelten
- Componenten (vezels en hars) niet te scheiden
- Chemische routes (pyrolyse, solvolyse) niet industrieel
- 'Cement-route' operationeel maar niet circulair ('open-loop')





# Windesheim-methode van hergebruik

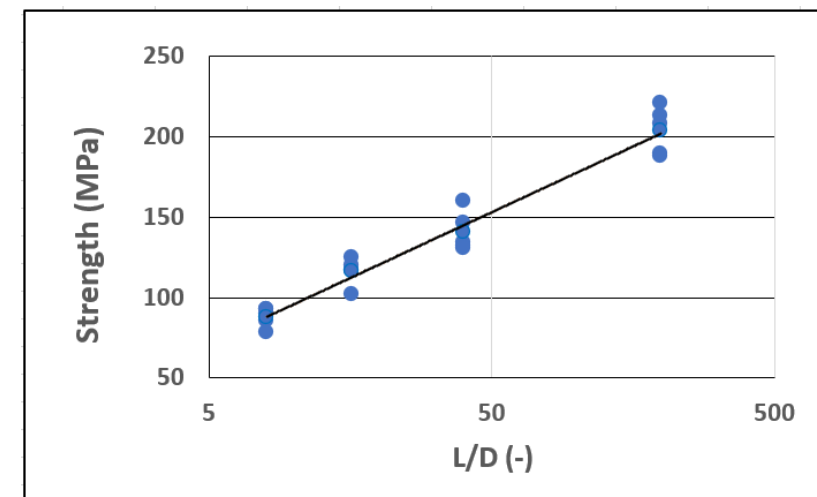
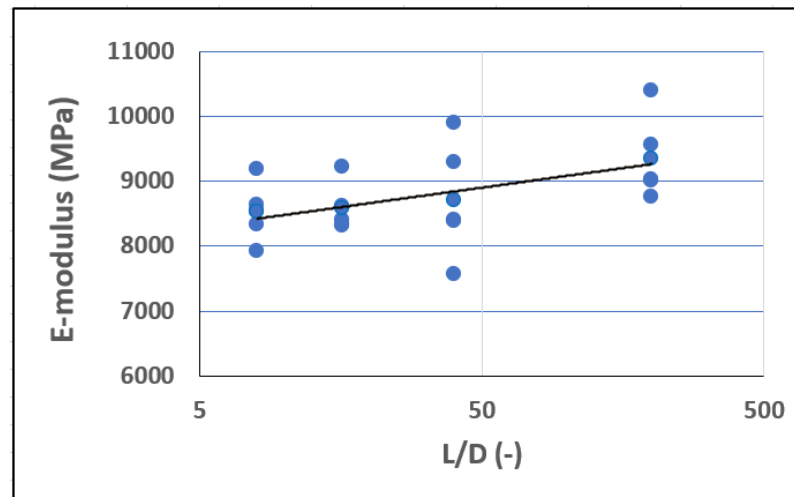
- Verklein End-of-Life (EoL) composiet maar laat structuur intact
- Hergebruik van nog aanwezige sterkte en waterbestendigheid
- Hergebruik als versterking in nieuwe composietproducten ('closed-loop')
- Dringend nodig i.v.m. grote stijging stroom EoL-composiet (windparken)



*Geshredderd EoL composiet toegepast als versterking in nieuwe composietproducten*

# Windesheim-methode van hergebruik

- Lengte-Dikte-verhouding (L/D) vlokken belangrijk voor versterking
- Voor versterkende werking bij voorkeur  $L/D > 50$

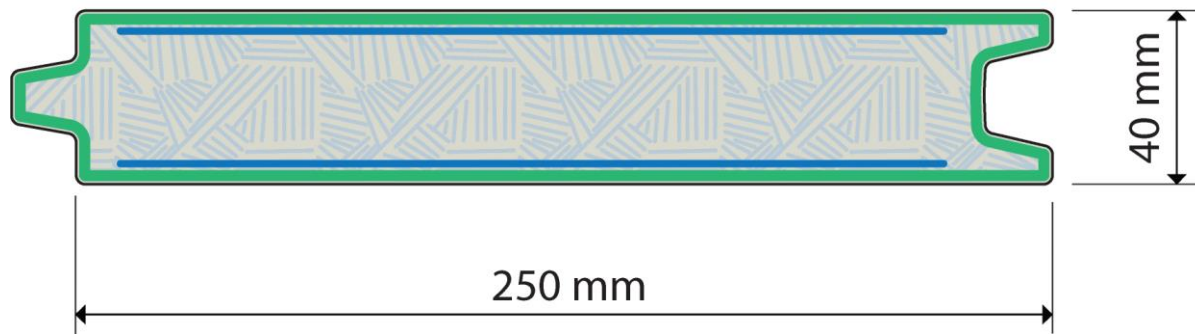


*Eigenschappen van nieuw product als functie van L/D vlokken*



# Demonstrator: oeverbeshoeing

- Verticaal ingetrilde planken
- 3,5 meter lang, 80 stuks
- Vervanging tropisch hardhout



*Beatrix-sluis Almere*

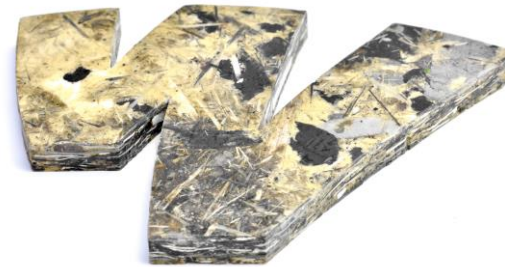


# Demonstrator: interieurpanelen

- Panelen van vlokken met geschuimd PU
- Geperst en verwerkt in tafels, kabinetten



*Persen van platen bij VDL-Wientjes in Emmen*



*Interieurdelen bij Windesheim*

# Demonstrator: wrijfgordingen

- Balken 4 meter lengte (200 x 200 mm)
- Aanvaarsterkte 450 kN getest



*Wrijfgordingen in remmingwerken Delfzijl*



# Demonstrator: dragline-schot

- Balken 5 meter (200 x 200 mm)
- 5 stuks samengesteld tot schot
- Getest op bouwplaatsen



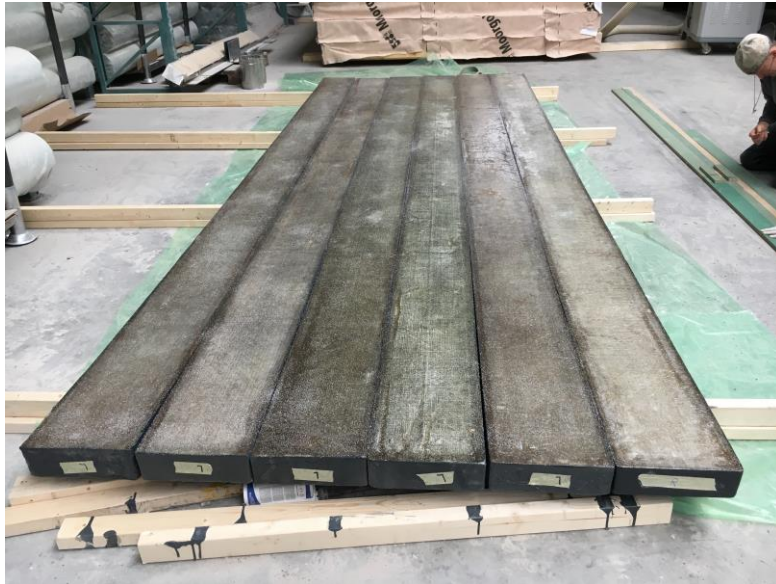
*Zware praktijktests door producent Welex*





# Demonstrator: dekplanken

- Dekprofielen 2 meter (95 x 245 mm)
- Getest en geschikt voor zwaar verkeer



*Productie profielen door Composites Structures*



# Onderzoek naar eigenschappen

- Statische mechanische eigenschappen (sterkte, stijfheid)
- Verwerking tot ontwerpeigenschappen
- Werkwijze volgens CUR96 en Eurocode



*Coupon tests en full-scale tests*



# Lange-duur-eigenschappen

- Toepassingsgebied: Nederlandse infra
- Buiten, inwerking van weer en wind, nat/droog of permanent nat
- Relevant: (UV), vochtinwerking, kruip en vermoeiing
- Gebruik voor vaststelling conversiefactoren volgens CUR96

$$X_d = \eta_c \cdot X_k / \gamma_M$$

*Ontwerpwaarde ( $X_d$ ) bepaald door conversiefactoren*

$$\eta_c = \eta_{ct} \cdot \eta_{cm} \cdot \eta_{cv} \cdot \eta_{cf}$$

$\eta_{ct}$

**conversiefactor voor temperatuur**

$\eta_{cm}$

**conversiefactor voor vochtinwerking**

$\eta_{cv}$

**conversiefactor voor permanente belasting (kruip)**

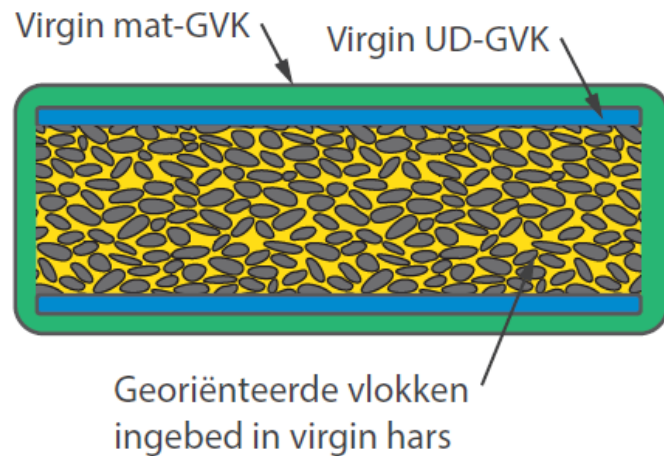
$\eta_{cf}$

**conversiefactor voor wisselende belasting (vermoeiing)**



# Lange-duur-eigenschappen

- Werkwijze onderzoek: gebruik van modelproefstuk (24 x 50 x 650 mm)
- Vergelijkbaarheid van resultaten
- Opbouw: kern van hergebruikt composiet en virgin mantel
- Testen met 3-punts buiging i.v.m. toepassingsgebied



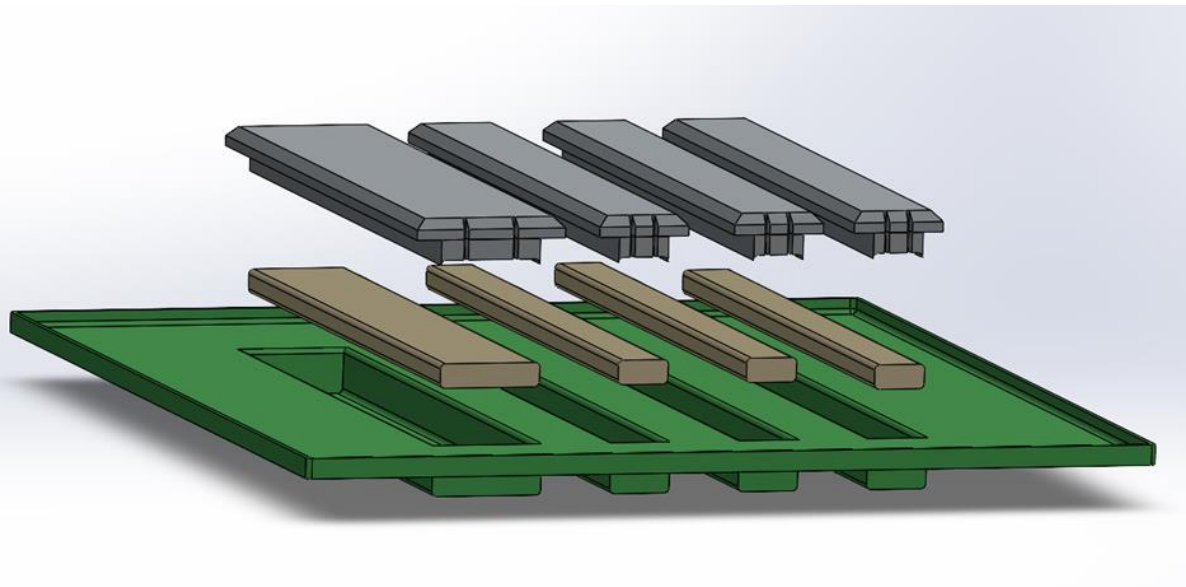
*Opbouw modelproefstuk*



*3-punts buigtest modelproefstuk*

# Lange-duur-eigenschappen

- Vervaardiging modelproefstukken
- Gebruik RTM mal met siliconen bovenmal
- Inzetstukken voor maatvoering

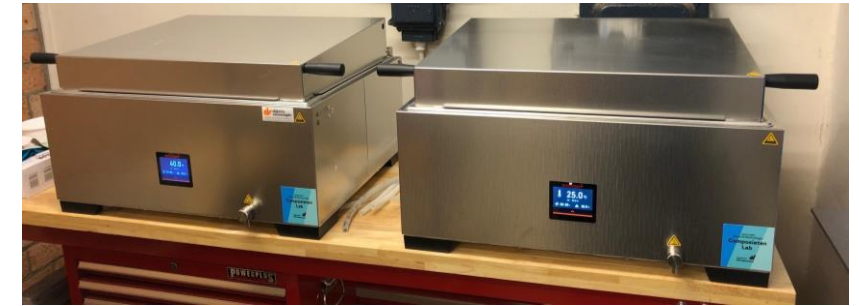


# Lange-duur-eigenschappen

- Vochtopname bij permanent watercontact
- Versneld in water bij hogere temperaturen
- Effect op mechanische eigenschappen

- Doodgewicht kruipproeven
- Doorbuiging bij permanente belasting
- Optreden kruipbreuk ?

*Doodgewichtstests bij 10% en 25% van breuksterkte*



*Warmwaterbaden met samples*

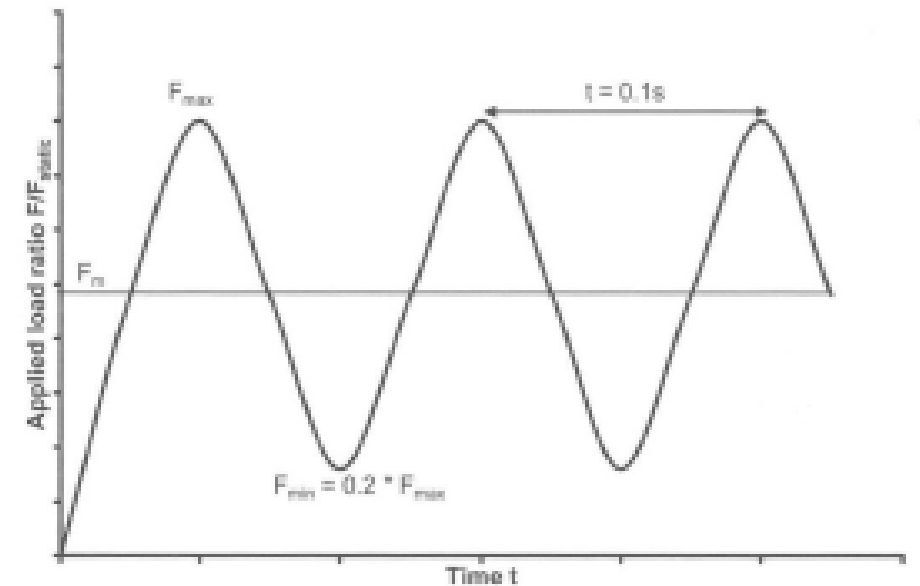




# Lange-duur-eigenschappen

## Vermoeiing

- Wisselende belasting
- Opbouw van inwendige schade > breuk
- Maximale belasting onder statische sterkte
- Bepaling aantal wisselingen tot breuk (N)
- S-N-curve: belastingsniveau (S) versus N
- Veel spreiding > veel tests nodig
- Soms ondergrens belasting: nooit breuk



# Lange-duur-eigenschappen

- Vermoeiingstests
- Vraagstelling Windesheim voor vermoeiings-testopstelling
- Ontwikkeltraject i.s.m. Enduteq



## Programma van Eisen

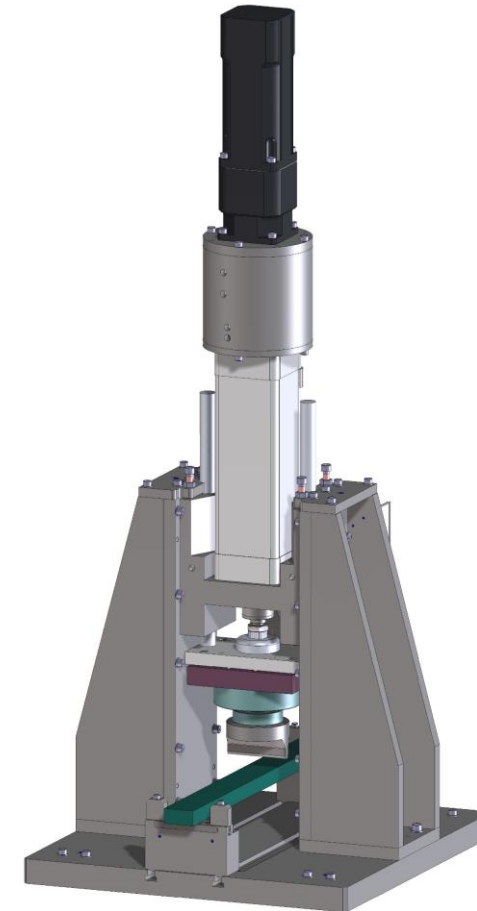
- 3-punts buigbelasting op basis van proefstuk 24 x 50 x 650
- Opleglengte 500 mm maar ook instelbaar tot kleinere proefstukken
- Belastingfrequentie 2 Hz, alleen druk, wisselend tussen 2 niveaus
- Maximale kracht: statisch 12 kN, wisselend 8 kN
- Uitlezing traverseverplaatsing en kracht in de tijd
- Bij voorkeur twee posities voor simultaan testen van 2 monsters



**PLOT SHOWCASE**  
12 OKTOBER 2023 – FHI LEUSDEN

# Lange-duur-eigenschappen

Twee stations met elk apart frame (geen interferentie deformaties)





# Lange-duur-eigenschappen

- Vermoeiingstest in bedrijf



# Lange-duur-eigenschappen

- Belastingsprogramma in te stellen

Donderdag 5 Oktober 2023  
16:14:32

ENDUTECH

Overzicht Unit 1 Unit 2

Gemaakte Slagen <b>242814</b>	Laatste Slag [mm] <b>0.00</b>	Gehaalde Frequentie [Hz] <b>0.00</b>
----------------------------------	----------------------------------	---

Test Machine

Instellingen

Test Methode: Dynamisch (Sinus Variant)

Productnummer: testrun (zonder begrenzing cycli)

Frequentie [Hz]: 2,10  
Min. Kracht [N]: 600  
Max. Kracht [N]: 3000  
Preload [N]: 50,0

Stopvoorwaarden:  Gebruik Breuk Detectie

Slag Toename (Verplaatsing Min Naar Max) Maximale Toename Slag [%]: 25,0

Uiterste Slag (Afstand Vanaf Preload) Maximale Uiterste Slag [mm]: 25,0

Aantal Cycli Maximale Cycli: 1000011

Stop Test Op Max. Positie Geleiding

Start Test Pauzeer Test Stop Test Home

Test Status: Test Gestopt Na Toename Uitslag Ontgrendel Deuren

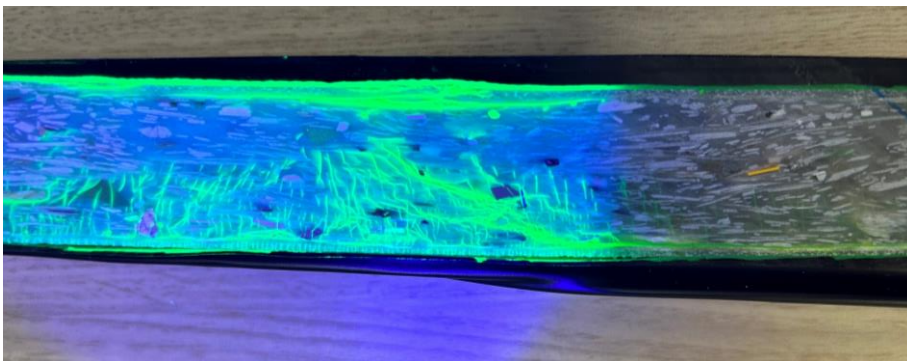
Grafische weergave

Logaritmische weergave



# Lange-duur-eigenschappen

Testen van 5 proefstaven per parametercombinatie

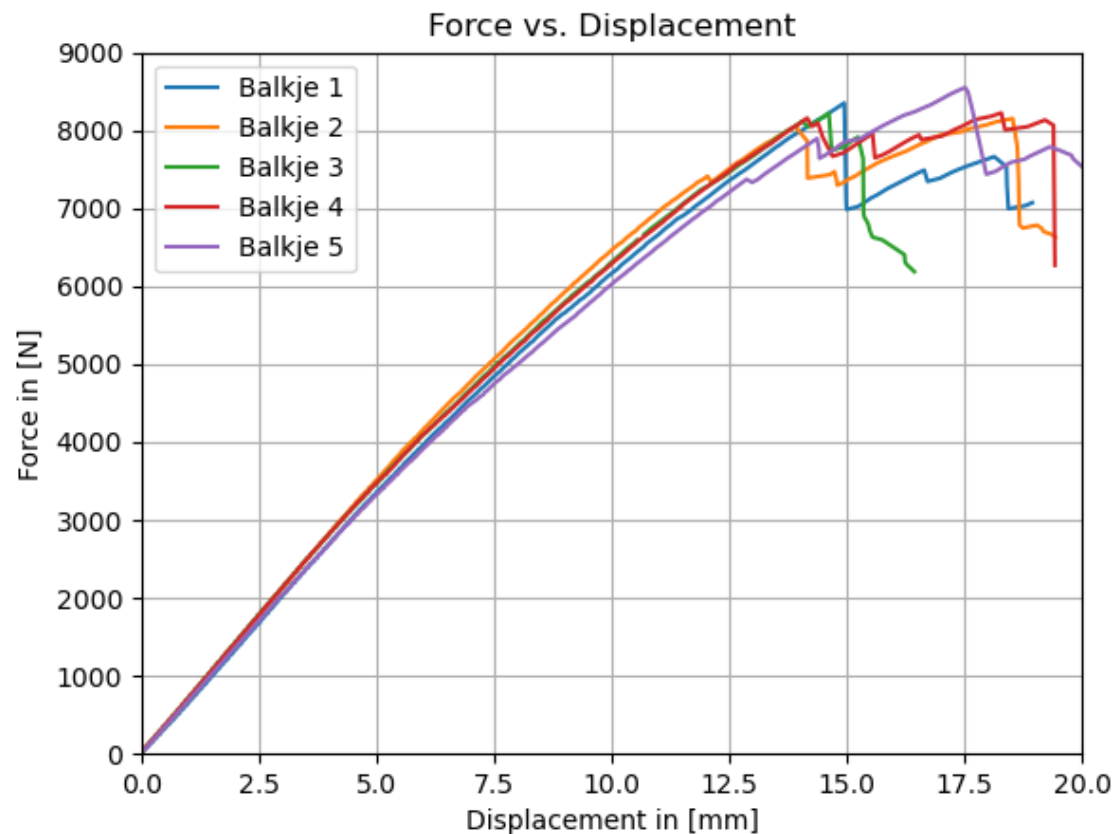


*Onderzoek breukgedrag met UV*



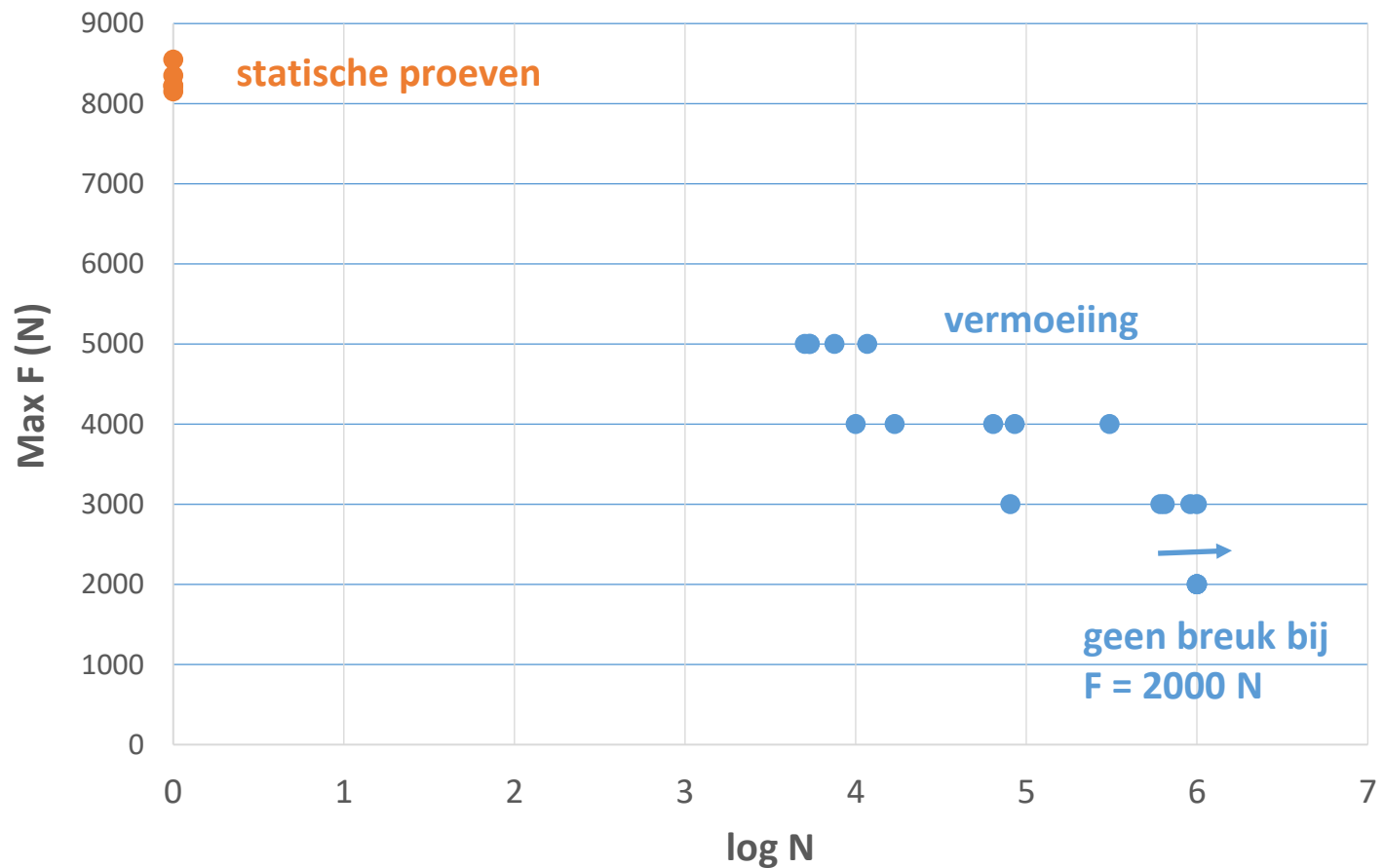
# Lange-duur-eigenschappen

Statische buigtests met de opstelling (gebruik als trekbank)



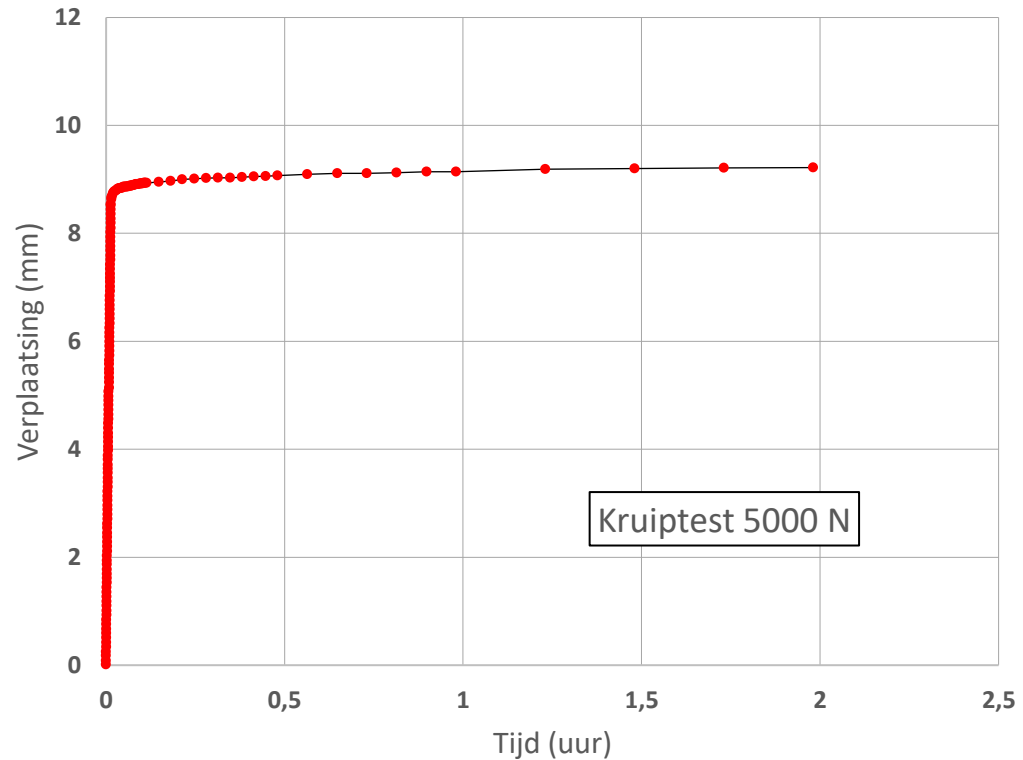
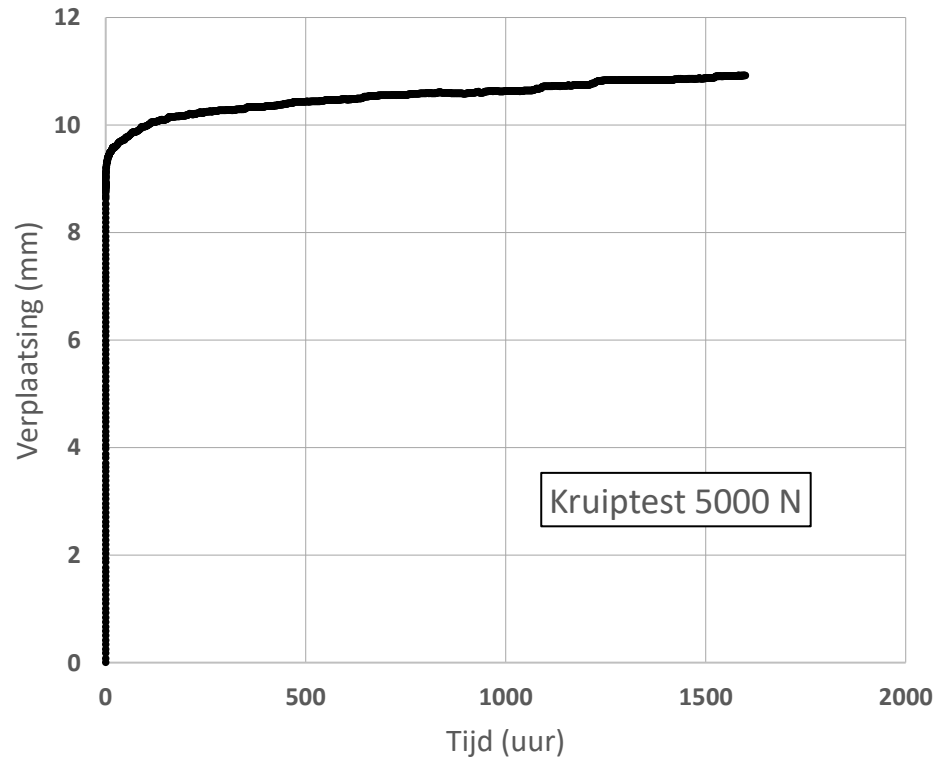
# Lange-duur-eigenschappen

S-N-curve van eerste testseries (tot  $N = 10^6$ )



# Lange-duur-eigenschappen

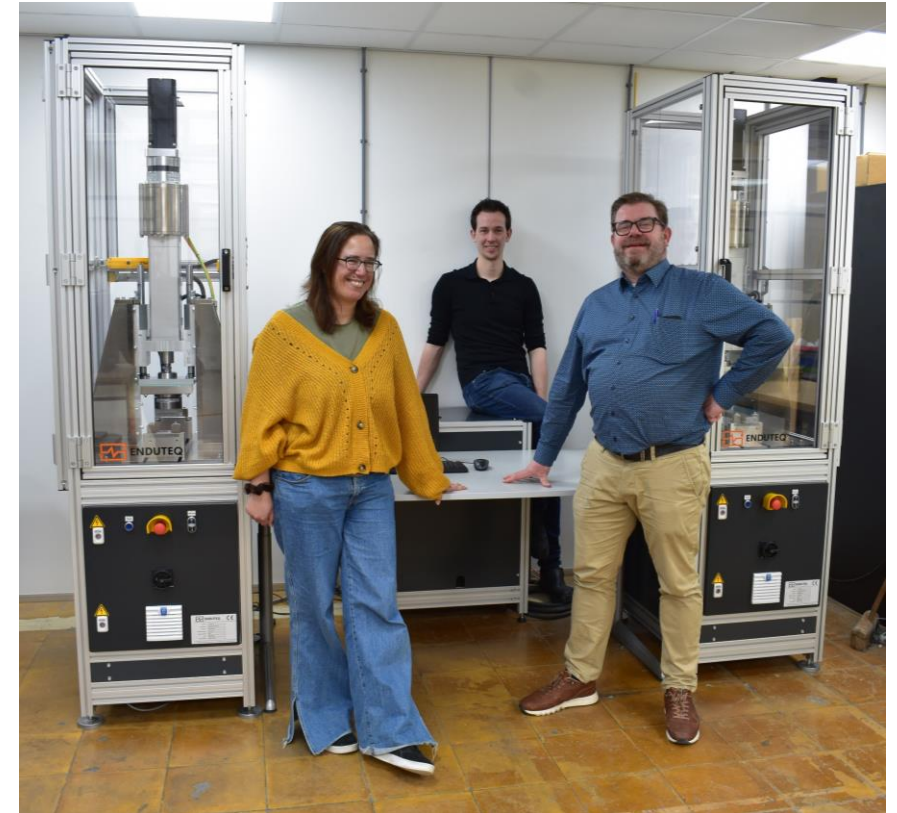
Kruiptests met de opstelling





# Conclusies en vervolg

- Goed werkende vermoeiingsopstelling
- Ook te gebruiken statisch en kruip
  
- Vervolg: effect andere harsen
- Vervolg: effect andere opbouw (kern)
- Vervolg: kruip bij hoge belasting (kruipbreuk)
- Modelleren van vermoeiingsschade



# Dank voor uw aandacht !

- Lectoraat Kunststoftechnologie, Hogeschool Windesheim  
Dr. Ir. Albert ten Busschen      [a.ten.busschen@windesheim.nl](mailto:a.ten.busschen@windesheim.nl)  
06-51916870
  
- Zie ook stand Enduteq voor testopstellingen zoals bij Windesheim

**PLOT SHOWCASE**  
12 OKTOBER 2023 — FHI LEUSDEN

