

# De staat van het ondergrondse museum

Wat doet zwaarder belasten met de veroudering van GPL-kabels?



KsandrXL - Workshop

Pjotr Muis en Colin van Wijk  
13 september 2024

# Een kleine intro....

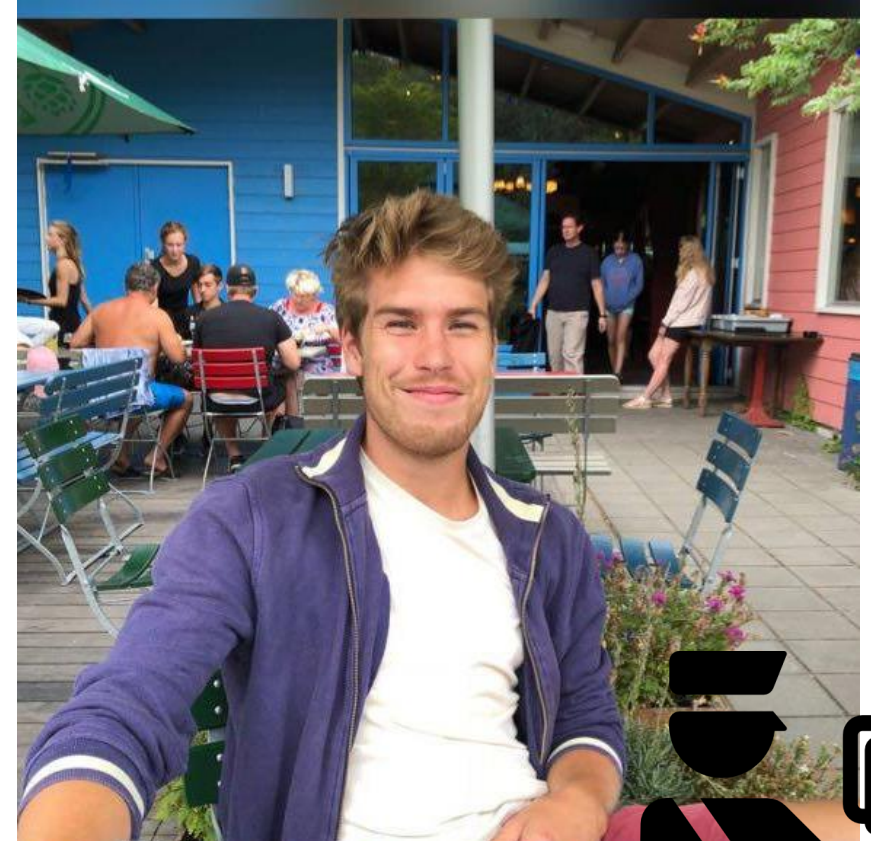
- Naam: Pjotr Muis
- Woonplaats: Amsterdam
- Achtergrond: Werktuigbouwkunde aan de TU Delft
- In dienst sinds: Januari 2021 – Duurzaam Energie Perspectief

## Focusgebied:

- Kabelsystemen

## Hobby's:

- Bierbrouwen
- Sleutelen aan oude motoren



# Een kleine intro....

- Naam: Colin van Wijk
- Woonplaats: Castricum
- Achtergrond: Sustainable Energy Technology aan de TU Eindhoven
- In dienst sinds: September 2022 – Assetmanagement Instandhouding

## Focusgebied:

- Assetmanagement kabelsystemen en lijnen

## Hobby's:

- Bierbrouwen
- Bordspellen



# Wat bespreken we met elkaar?

## Deel 1

Van  $I_{nom}$  naar temperatuur



Case 1: hoe bepalen we het transportvermogen?

Case 2: onverwachte grondcondities



## Deel 2

Van temperatuur naar veroudering



Het verouderingsproces

Diagnostische methodieken

# Deel 1: Van $I_{nom}$ naar temperatuur

# Kabeltemperatuurmodellering

## Waarom de shift van $I_{nom}$ naar temperatuur?

### De transportcapaciteit van een verbinding is gebaseerd op de continue $I_{nom}$

- De  $I_{nom}$  is gebaseerd op de NPR3107 voor GPL-kabels en de NPR3626 voor XLPE kabels.
- In de richtlijn wordt een continue omgevingstemperatuur aangenomen en uitgegaan van een risico op gronduitdroging.

### In tijden van congestie, materiaal-schaarste en een maakbaarheidsprobleem is er een behoefte om de $I_{nom}$ onder de loep te nemen en wellicht meer te focussen op temperatuur.

- Als hierin een extra marge wordt gevonden dan kan dat een buffer creëren tot aan de netverzwaring.
- Maar wat doen thermische grenzen met de conditie van de kabel?

Gelden de uitgangspunten waarbij de  $I_{nom}$  is bepaald wel altijd?



# Kabeltemperatuurmodellering

## Case 1

### De verbinding

- Voeding van een regelstation, waarin alle verbindingen een andere route volgen.
- De lengte van de verbindingen is ongeveer gelijk, te weten 10 km.
- Het oude kabeldeel kan pas in 2027 worden vervangen omdat eerst de installatie moet worden vervangen.

#### Kabel 1

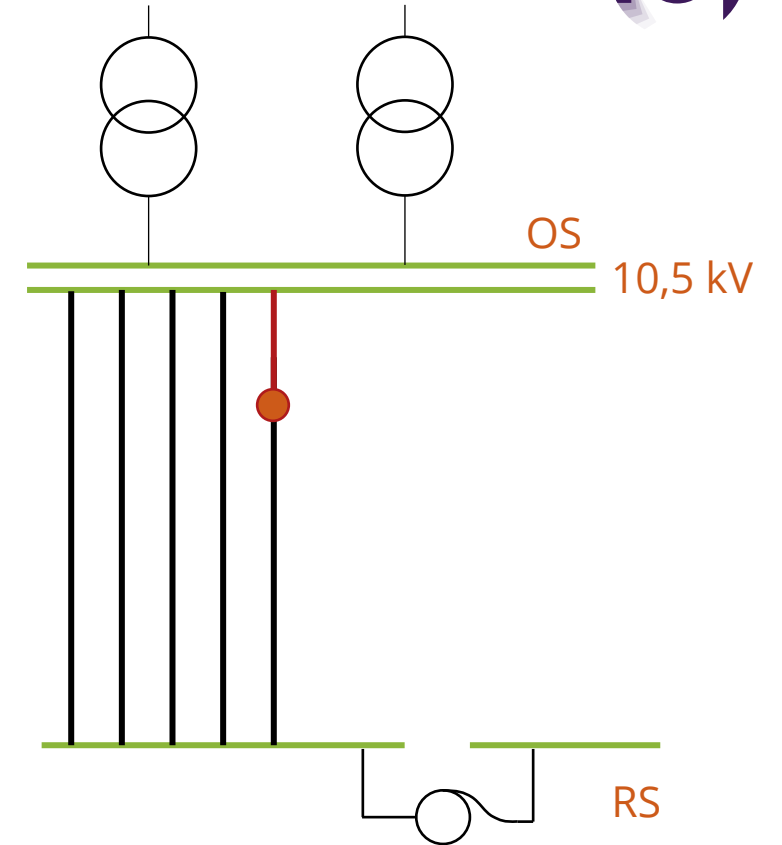
- 3x240Alrm XLPE
- $I_{nom}$ : 360 A
- Legdatum: 2000 - 2020

#### Kabel 2

- 3x150Cu GPLK
- $I_{nom}$ : 300 A
- Legdatum: 1970
- Lengte: 300 m

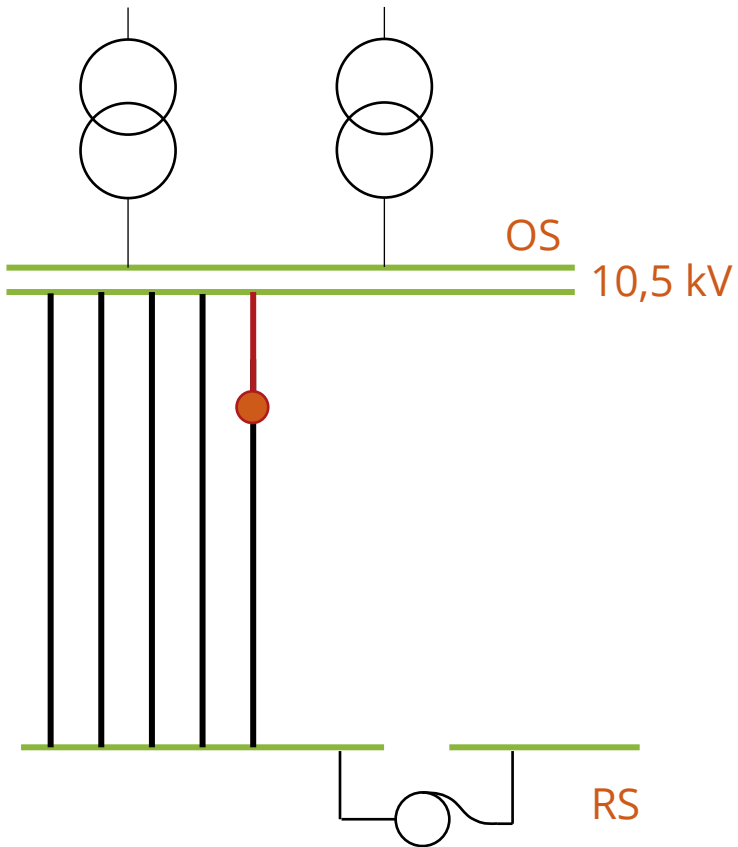
alliander

Ksandr



# Kabeltemperatuurmodellering

## Case 1



Hoe bepalen we in deze situatie het bedrijfszeker transportvermogen van de verbinding?

A. Eén circuit mag uitvallen, continue capaciteit bedraagt  $4 \times 300 \text{ A}$  want er geldt een gelijke belasting en we gaan uit van de maatgevende kabel dus in totaal  $1200 \text{ A}$  (22 MVA). Simpel!

B. Eén circuit mag uitvallen, maar het maakt niet uit welke want de situatie is van tijdelijke aard. Ik accepteer een verhoogde maximale geleidertemperatuur voor het zwakste circuit. Kortom  $4 \times 360 \text{ A}$  dus 26 MVA.

C. Of iets anders?

—  $I_{\text{nom}}: 360 \text{ A}$

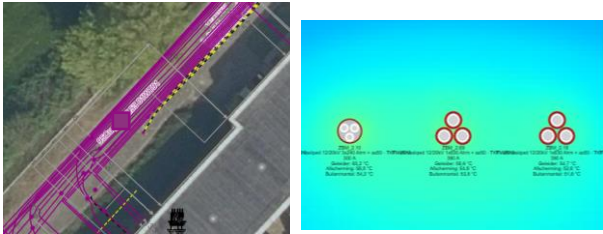
—  $I_{\text{nom}}: 300 \text{ A}$



# Aanvliegroute

## Case 1

### Stap 1



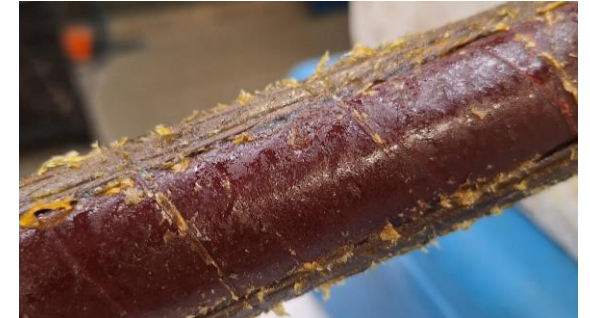
Gedetailleerde berekening

### Stap 2

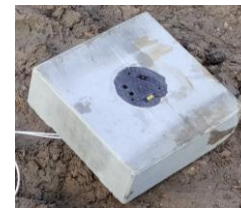
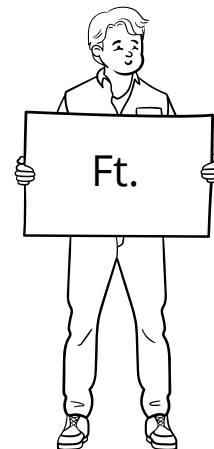


Installatie temperatuursensoriek

### Stap 3



Verouderingsonderzoek



# Stap 1: Gedetailleerde berekening

## Case 1

### Normberekening

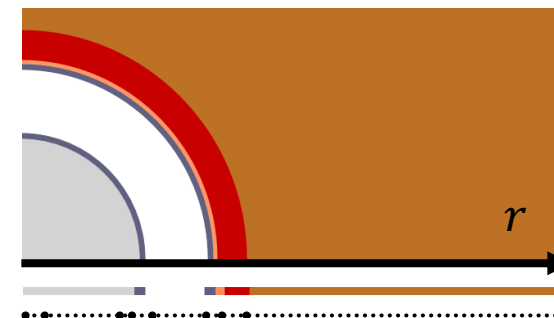
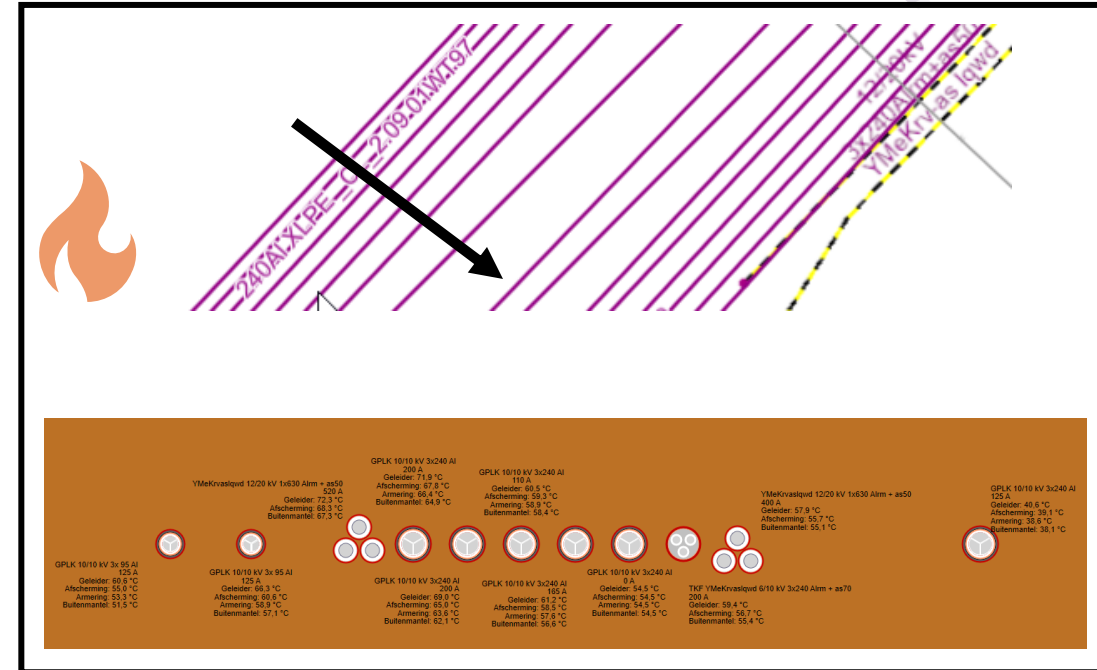
Een gedetailleerde berekening volgens de IEC60287 en IEC60853 geeft de volgende resultaten:

- 227 A voor de maatgevende kabelsectie door de wederzijdse beïnvloeding.
- Op basis van de zwaarst belaste week wordt er een cyclische factor berekend van 1,1 oftewel 250 A.

### Berekening via het eindige elementenmethode

#### 1D - temperatuurmodel

Gelijktijdigheid, verschillende cyclische belastingen en variërende grondtemperaturen kunnen worden meegenomen.



Geleiding      Opwarming

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} + W_c$$

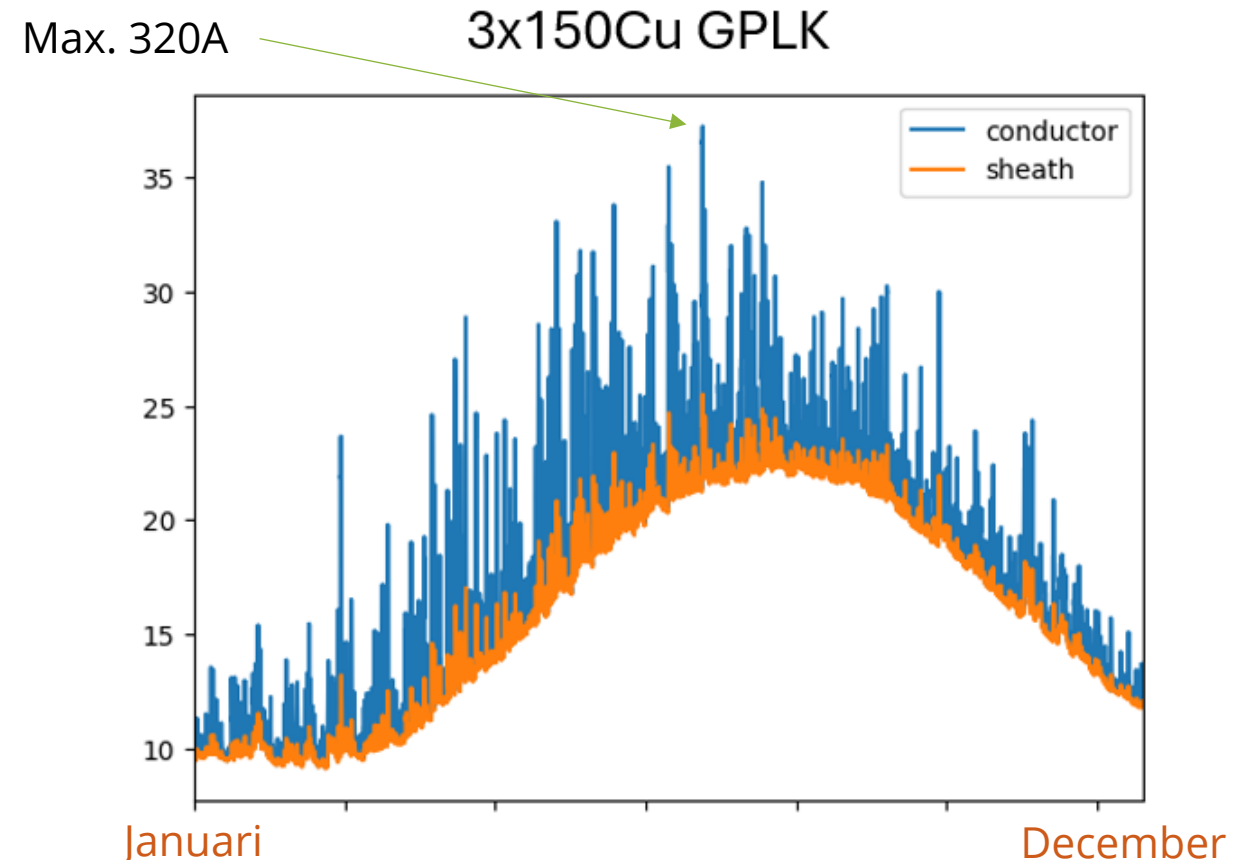
# Stap 1: Gedetailleerde berekening

Introductie van dynamische grondtemperatuur en gelijktijdigheid



## Berekening via het eindige elementenmethode

- Het meenemen van de gelijktijdigheid tussen de verschillende verbindingen zorgt voor realistischere thermische beïnvloeding.
- Het bodemtemperatuursprofiel is goed zichtbaar. De belastingspiek valt echter in de zomer dus het hanteren van dit profiel heeft minder effect.



# Stap 2: Temperatuurmonitoring en grondonderzoek

Case 1



Meettegel  
plaatsing

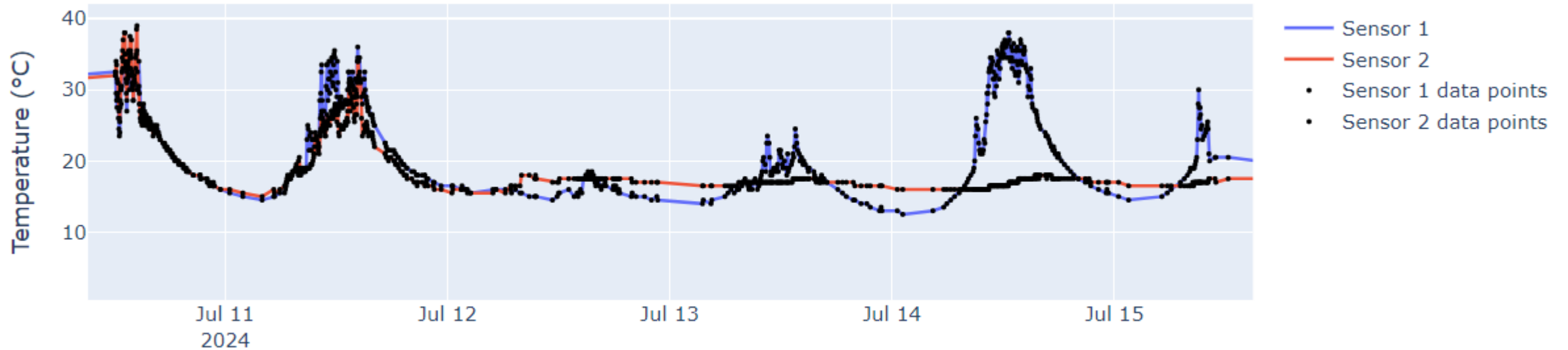


Sensor  
aanbrenging



# Stap 2: Temperatuurmonitoring

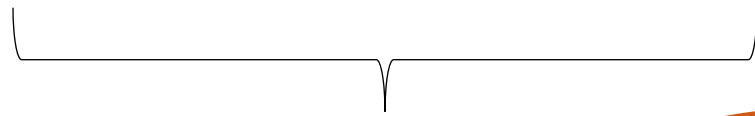
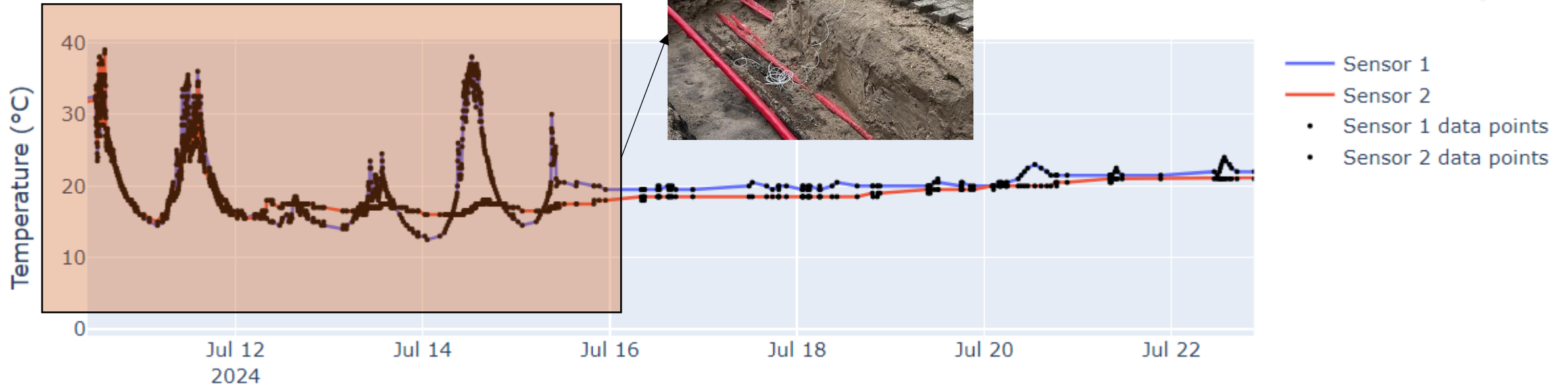
## Case 1



Hoe kan dit nou? Ik had het toch goed berekend (van achter mijn bureau)?

# Stap 2: Temperatuurmonitoring

## Case 1



Hoe kan dit nou? Ik had het toch goed berekend (van achter mijn bureau)?

# Stap 3: Verouderingsonderzoek

Case 1



Vet onder lood  
afscherming



Gordelisolatie



# Stap 3: Verouderingsonderzoek

Case 1



Verkazing compound bij aderisolatie



Compound samples





# Kabeltemperatuurvalidatie en bottleneck bepaling

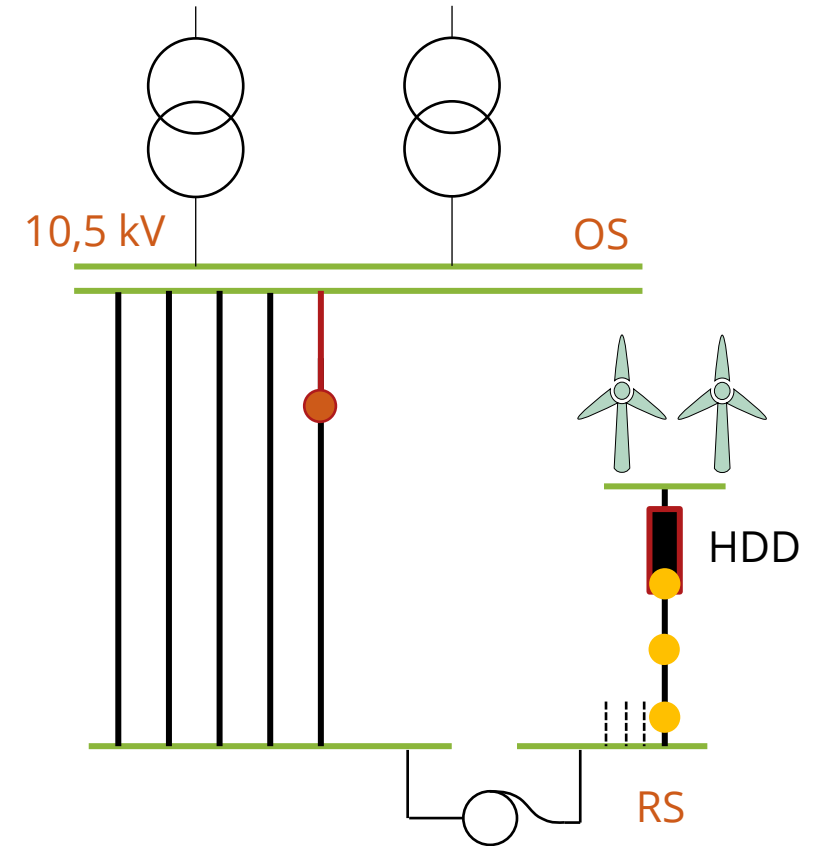
## Case 2: Hoge windbelasting

Om de kabeltemperatuur goed te kunnen modeleren zijn er meettegels geplaatst op meerdere hoog belaste verbindingen.

Zo ook op een windpark-verbinding achter het regelstation.

### De verbinding

- Een groot windpark is aangesloten op het onderliggende regelstation.
- Het windpark heeft een contractvermogen van 10 MVA (op 10,5kV) en piekt ook vaak genoeg op 550 A.
- De verbinding is een niet-redundant aangesloten op het regelstation en is uitgevoerd middels één circuit 3x1x630Alrm ( $I_{nom}$  575 A).

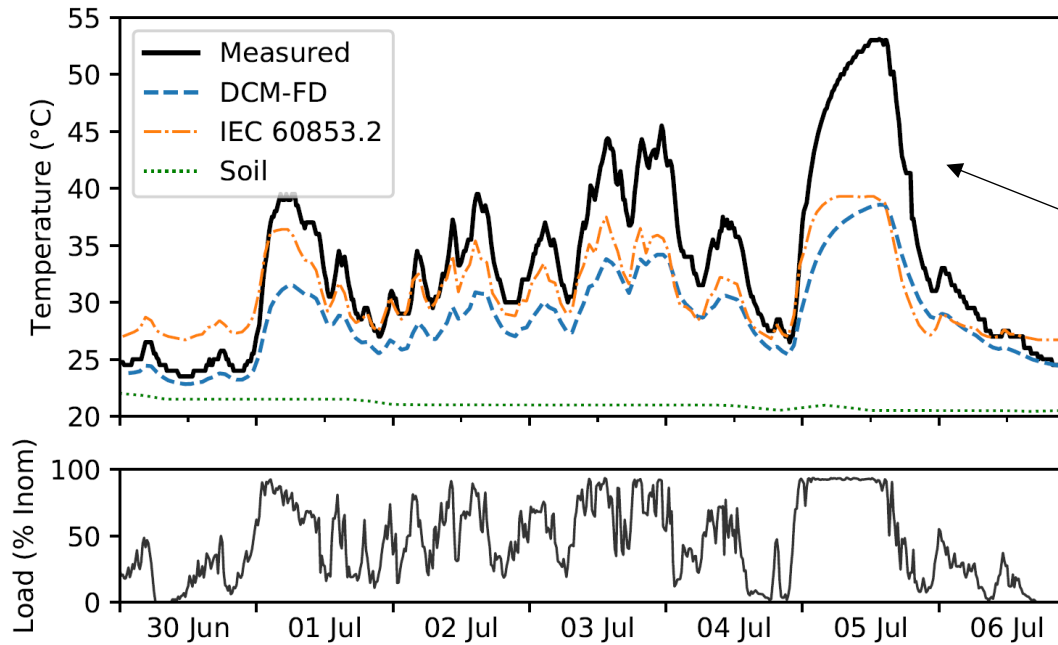


Waar wordt deze kabel het warmst en plaatsen we temperatuursensoren?



# Kabeltemperatuurvalidatie en bottleneck bepaling

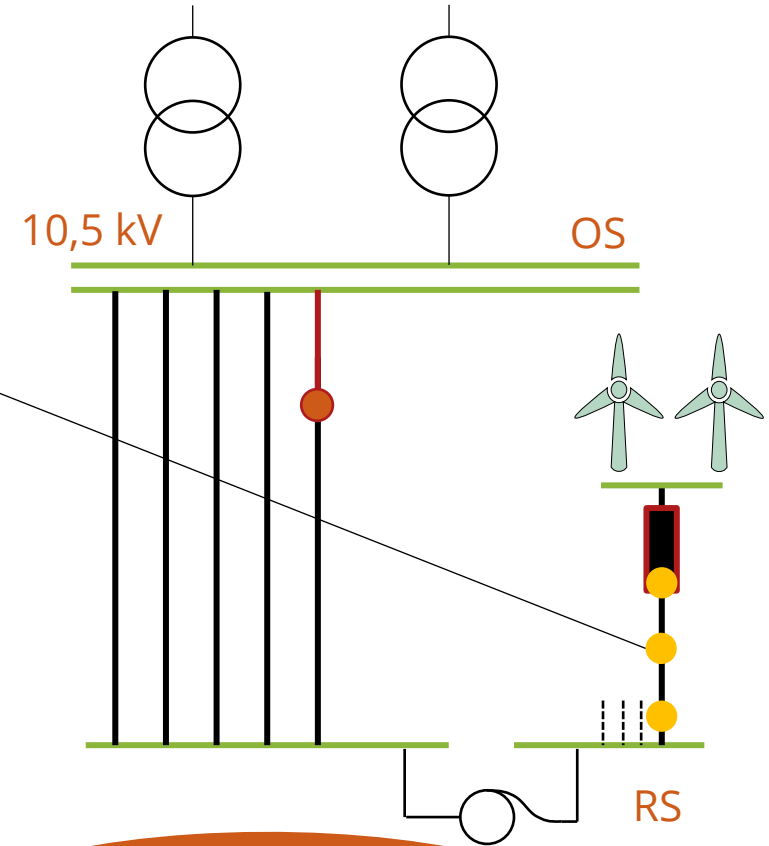
## Case 2: Hoge windbelasting



### Reden:

Zeer poreuze zandgrond en daardoor niet in staat het grondwater vast te houden.

G-waarde gaat richting de 1,3 K·m/W voor zandgrond.



Hoe kan dit nou? Ik had het toch goed berekend (van achter mijn bureau)?

# Bottleneck bepaling

## Case 2: Hoge windbelasting



## Deel 2: Van temperatuur naar veroudering

# GPLK-verbindingen veroudering & faal mechanismen

## Veroudering/degradatie mechanismen



Thermal



Electrical

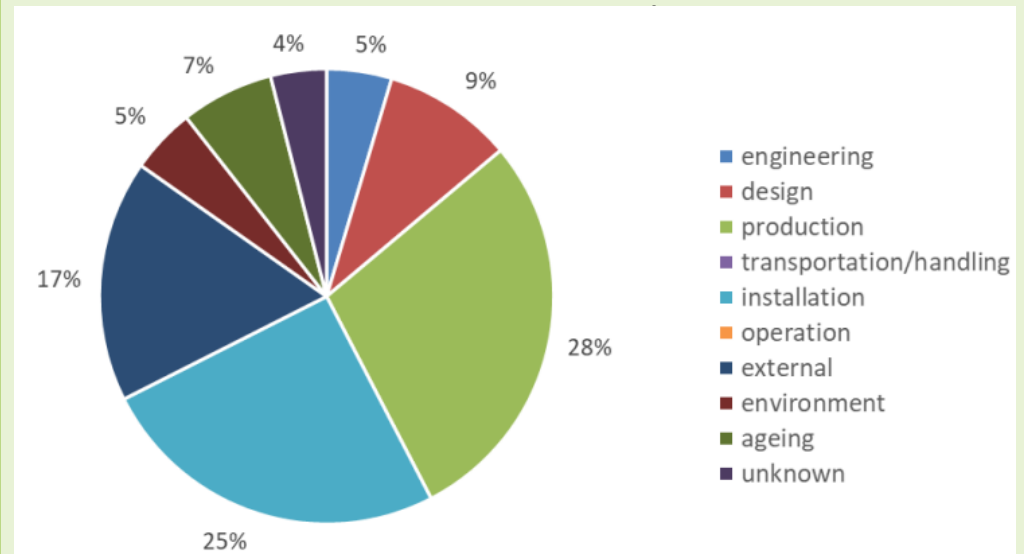


Ambient



Mechanical

## Faal mechanismen

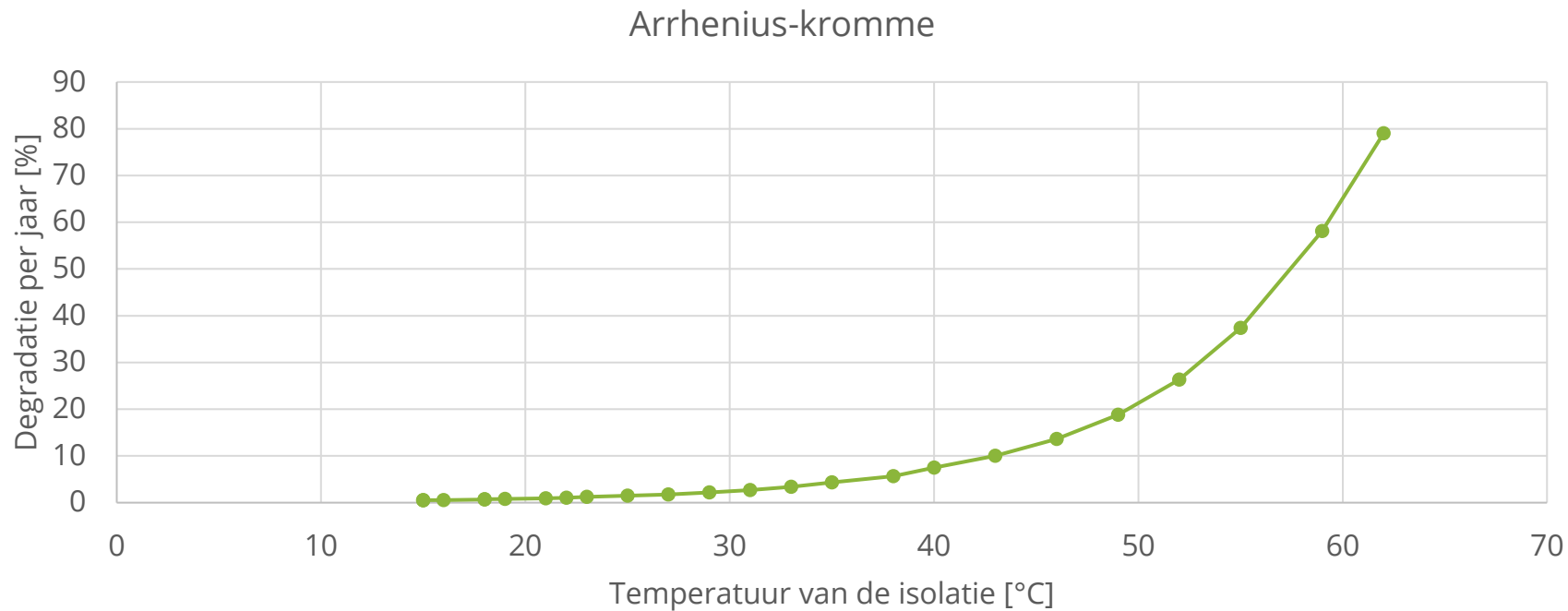


[1]

# Thermische veroudering van GPLK

## Arrhenius-kromme

Als gevolg van de temperatuur van de kabel kunnen de hiervoor beschreven reacties worden versneld.



Wie past dit toe in het bepalen van de degradatiegraad van de kabels?



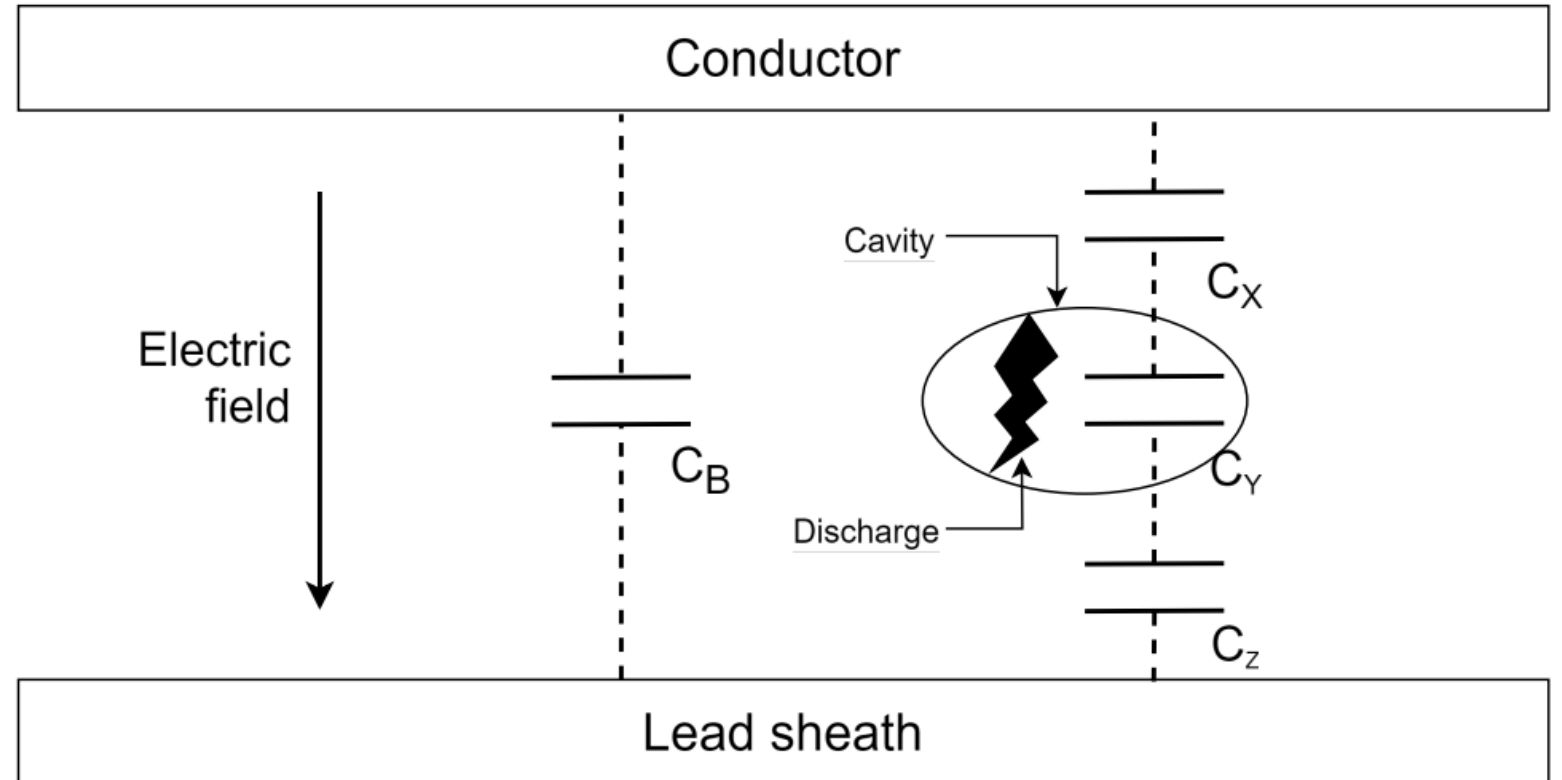
# Thermische & elektrische veroudering van GPLK-isolatie

Verkazing van de compound

- Warmte dissipatie vanuit de geleider, door belasten van kabels verhoogt de temperatuur in de isolatie
- Wrijving draaiende dipolen zorgt voor verliezen in de isolatie

Voids kunnen ontstaan → deelontladingen

De-polymerisatie van het papier

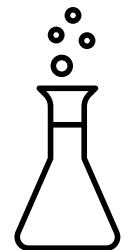
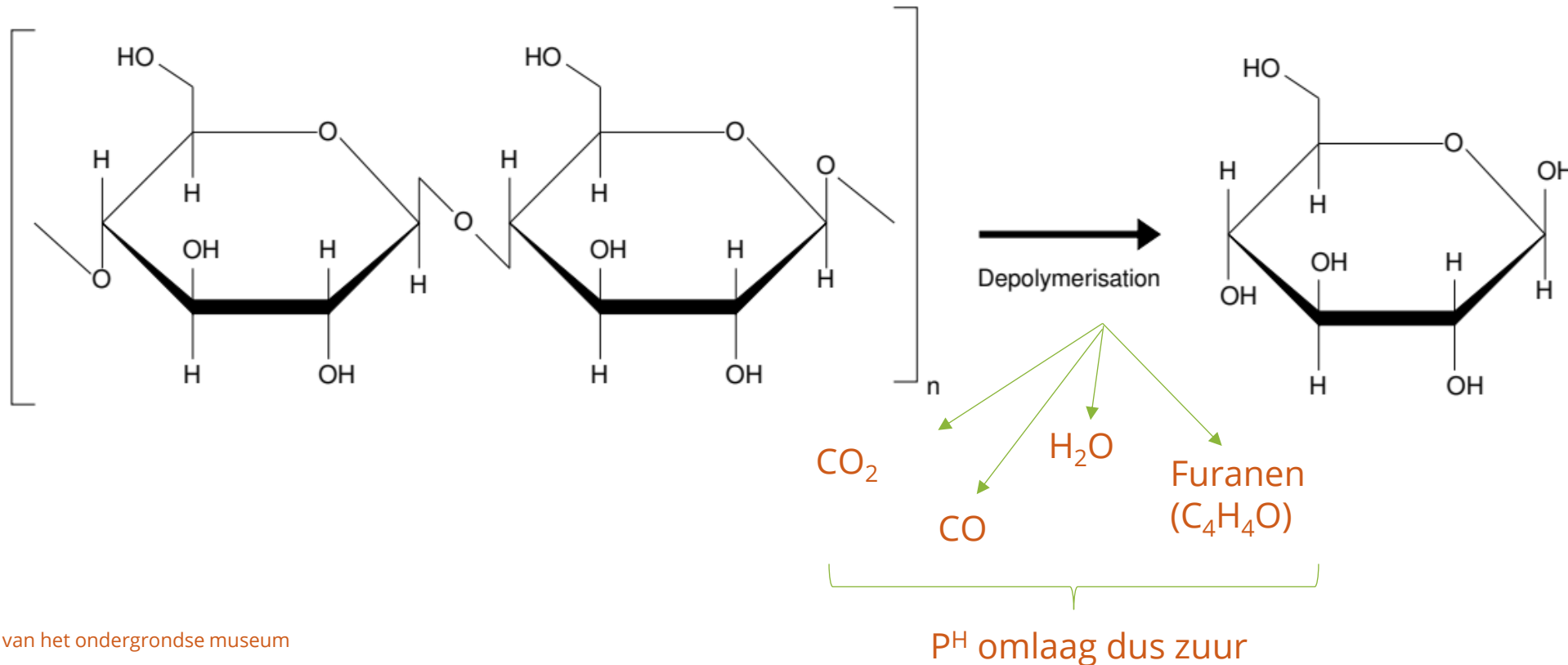


# Thermische veroudering van GPLK-papier

Wat is gebeurt er fysisch

De veroudering van GPLK papier kan worden gelinkt aan de depolymerisatie van de cellulose-ketens in het isolatiepapier.

Oxidatie, pyrolyse, hydrolyse





# Thermische & elektrische veroudering GPLK-papier

Periodiek onderzoek naar de veroudering van PILC op secties in GPLK uit het net, met DNV.

Verbinding met gemiddelde Arrhenius veroudering van  $\pm 1.12\%/y$

- Lage vochtigheid in het isolatie papier  $< 0.3\%$
- Alle onderzochte kabels hadden een papier DP tussen de 1000 and 1300

De kwaliteit van het papier was goed voor alle onderzochte kabelsecties.



# Thermische veroudering van GPLK-massa

Wat is gebeurd er fysisch

Als gevolg van de zuurdere omgeving kan de massa gaan veresteren (?).



# Thermische veroudering van GPLK

Hoe kan de veroudering worden vastgesteld?

Er zijn meerdere methoden om de veroudering vast te stellen. Enkele voorbeelden:

- $\tan(\delta)$  - meting → Uitdaging: hoe moet de waarde worden geïnterpreteerd?
- Polymerisatiegraad meting → Uitdaging: Complexe test

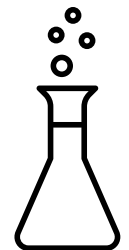
- Viscositeitmeting van de massa

- Vochtgehalte meting

?

Welke ervaringen zijn er nog meer?

?

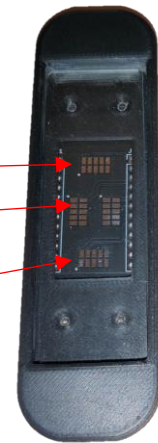
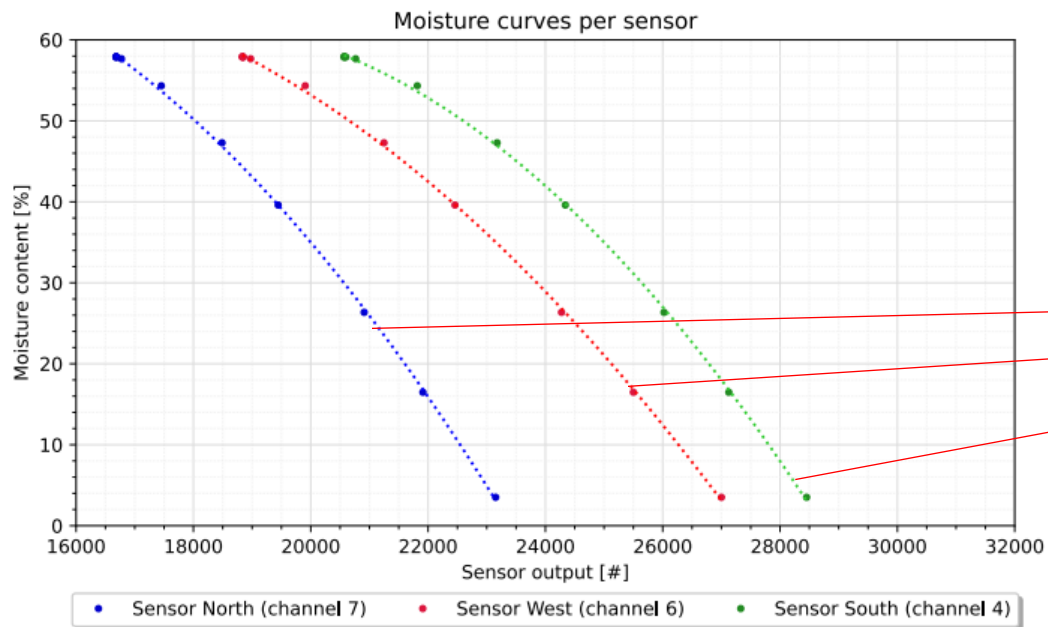


# Vochtgehalte GPLK

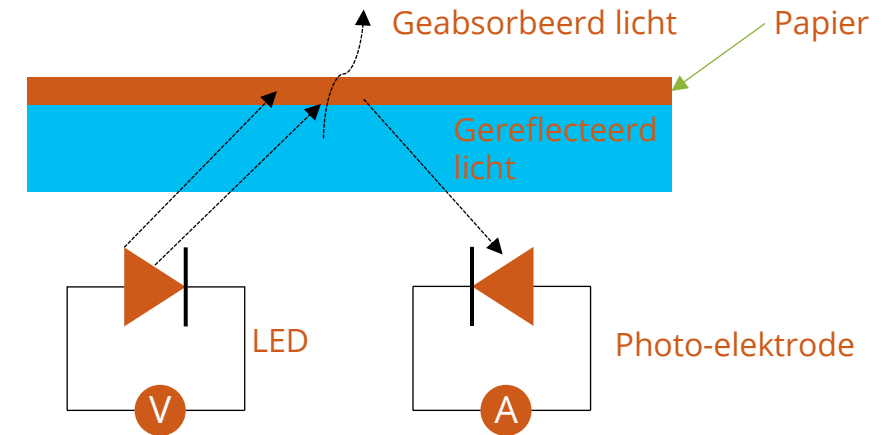
## Take-away

Traject begon ter vervanging van de bruisproef, maar er is ook gekeken naar de mogelijkheid om veroudering vast te stellen.

- Meettechniek is via Near-infrared spectroscopie op een vaste golflengte van 1450 nm.



Hand-held sensor



Afstudeeropdracht van Rick Steman (TU Delft) i.s.m. Ole Brauckmann en de RU

## Uitdagingen

- Te weinig data in de lage vochtigheidszones.
- Hoeveel neemt het vochtgehalte toe in het geval van hoge temperaturen?



# ksandr

## **POSTADRES**

office +31 263 56 94 08  
info@ksandr.nl  
www.ksandr.nl

## **BEZOEKDRES**

Westervoortsedijk 73  
Kantoorgebouw KB  
6827 AV Arnhem