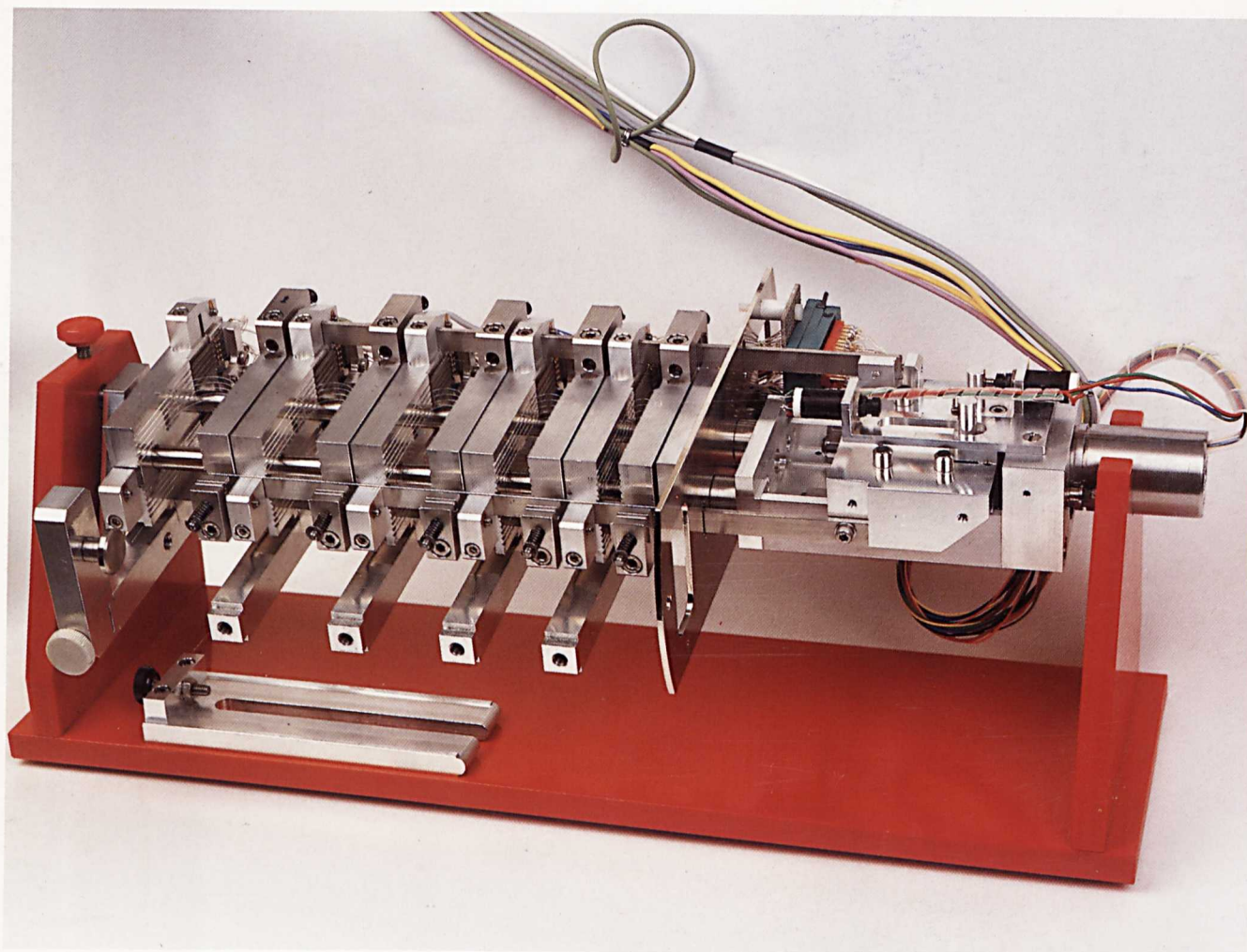


Mechanische betrouwbaarheid van glasvezels



Mechanische betrouwbaarheid van glasvezels

Auteur: drs. W. Griffioen

PTT Research, Leidschendam, 1990

Monografie 9002

Mechanische betrouwbaarheid van glasvezels



© Koninklijke PTT Nederland NV, PTT Research, Leidschendam

Behoudens uitzonderingen door de Wet gesteld mag zonder schriftelijke toestemming van de rechthebbende op het auteursrecht van deze uitgave niets hieruit worden veeelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of anderszins; het vorengesegde is ook van toepassing op de gehele of gedeeltelijke bewerking. De rechthebbende is met uitsluiting van ieder ander gerechtigd de door derden verschuldigde vergoedingen van kopiëren, als bedoeld in artikel 17 lid 2, Auteurswet 1912 en in het K.B. van 20 juni 1974 (Stb. 351) ex artikel 16b Auteurswet 1912, te innen en/of daartoe in en buiten rechte op te treden.

ISBN 90-72125-25-8

Inleiding

In veel landen zijn hoge investeringen gedaan in glasvezelkabels. Er wordt verwacht dat deze investeringen in de toekomst snel zullen stijgen, vooral door installatie van het glasvezel abonneenetwerk. Het is dan ook van groot belang dat de levensduur van de glasvezelkabels voldoende lang is. Een belangrijke mogelijke faaloorzaak is het breken van de glasvezels als gevolg van spanningsgeïnduceerde scheurgroei. Deze scheurgroei hangt af van de omgeving (met name water speelt een grote rol) waarin de vezel zich bevindt en van spanningen op het vezeloppervlak, meestal als gevolg van buiging van de vezel in de kabelstructuur.

Behalve een introductie en een zo actueel mogelijk overzicht op het gebied van de betrouwbaarheid van glasvezels, behandelt deze monografie ook enige meetmethoden op dit gebied zoals die bij PTT Research aanwezig zijn.

december 1990



W. Griffioen

- In view of the fact that the system is designed to be used by a single user, it is not possible to have more than one user at a time.
- The system is designed to be used by a single user, and it is not possible to have more than one user at a time.
- The system is designed to be used by a single user, and it is not possible to have more than one user at a time.
- The system is designed to be used by a single user, and it is not possible to have more than one user at a time.
- The system is designed to be used by a single user, and it is not possible to have more than one user at a time.
- The system is designed to be used by a single user, and it is not possible to have more than one user at a time.

The system is designed to be used by a single user, and it is not possible to have more than one user at a time.



December 1990

The system is designed to be used by a single user, and it is not possible to have more than one user at a time.

Inhoud

Scheurgroei in kwartsglas	7
Levensduurmodellen	11
Niet-lineaire elastische effecten	15
Meetmethoden	17
Spanningsonafhankelijke effecten (in water)	27
Oorzaken van mechanische spanningen	33
Nieuwe ontwikkelingen	37
Conclusies	39
Literatuur	41
Dankbetuiging	43
De auteur	45

CIP-gegevens Koninklijke Bibliotheek, Den Haag

Griffioen, W.

Mechanische betrouwbaarheid van glasvezels / W. Griffioen. - Leidschendam: PTT Research. -

(Monografie / PTT Research; 9002)

ISBN 90-72125-25-8

Trefwoorden: glasvezels

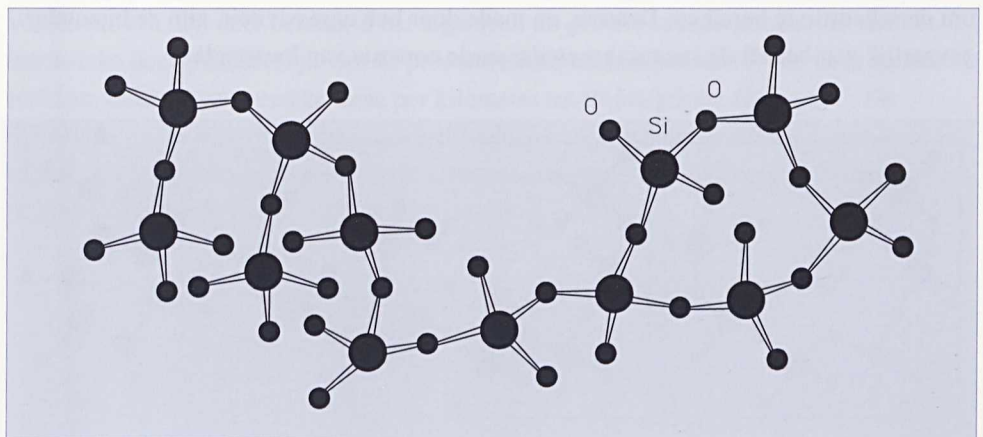
Inhoud

•	7	Behoud van de wetten
•	11	Levensduurmodellen
•	19	Niet-lineaire elektrische effecten
•	27	Mechanische effecten
	37	Spanningsafhankelijke effecten in water
	38	Overeenkomst van mechanische spanningen
	37	Statische ontwerprichtlijnen
	38	Conclusie
	41	Lijst van literatuur
	43	Overzicht van de literatuur
	43	De auteur

Scheurgroei in kwartsglas

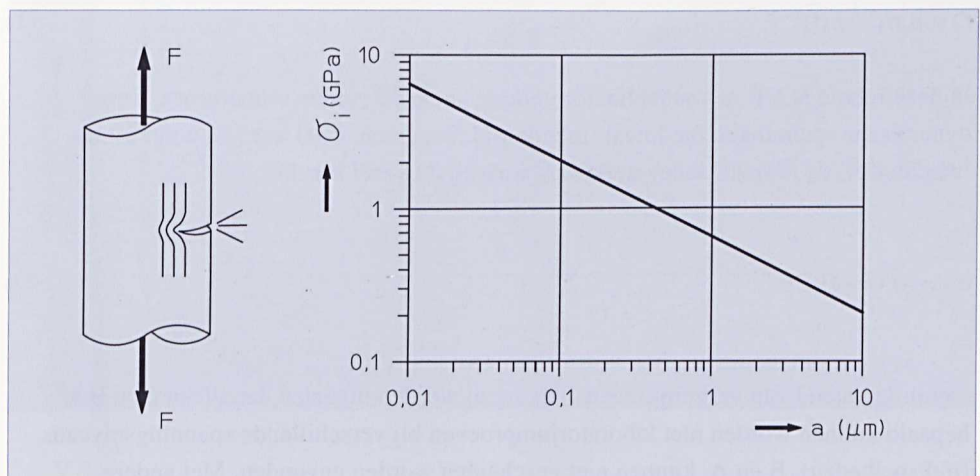
Glasvezels van kwartsglas bestaan uit **ringstructuren** van SiO-tetraeders. De chemische binding van deze tetraeders zou in een mechanische sterkte (= maximale spanning) van 20 GPa ($1\text{ GPa} = 10^9\text{ N/m}^2$) moeten resulteren.

Figuur 1:
Ringstructuur van kwarts
glasvezel



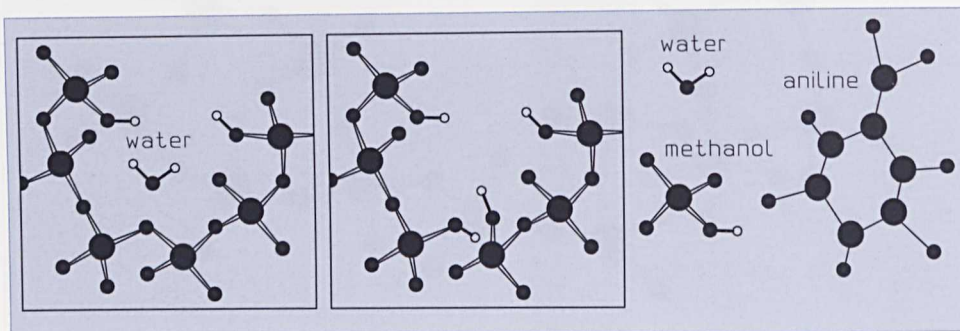
Spanningsconcentratie rond scheuren, met name bij de scheurtip, is er echter de oorzaak van dat de vezel breekt bij lagere spanningsniveaus. Uit de theorie volgt een unieke relatie tussen de scheurdiepte a en het spanningsniveau waarbij de vezel direct breekt op de scheur. Dit spanningsniveau is de (inerte) sterkte σ_i (figuur 2).

Figuur 2:
Spanningsconcentratie rond
een scheur en het hieruit
voortvloeiende theoretische
verband tussen (inerte) sterkte
 σ_i en scheurdiepte a voor een
glasvezel



In de praktijk worden er nog lagere sterktes waargenomen dan hetgeen zou volgen uit de relatie tussen scheurdiepte en sterkte. Bovendien hangt de sterkte van glasvezels af van de tijd. Dit kan worden verklaard door **scheurgroei** als gevolg van een spanningsgeïnduceerde chemische reactie ('dissociative chemisorption') die de

- bindingen breekt, waardoor de scheurdiepte langzaam toeneemt en, volgens figuur 2, de sterkte afneemt. De spanning is het grootst bij de scheurtip. Dit betekent dat het niet alleen van belang is hoe agressief de aanvaller is, maar ook wat z'n grootte is, om in de scheurtip te kunnen passen. De moleculen van water en ammoniak zijn voldoende klein om de scheurtip te bereiken. Daarom, en mede door hun agressiviteit, zijn ze bijzonder gevaarlijk wat betreft de spanningsgeïnduceerde corrosie van kwartsglas.



Figuur 3:
Aanvallers rukken op naar de
scheurtip en veroorzaken
spanningsgeïnduceerde
scheurgroei

Scheurgroei in kwartsglas wordt meestal beschreven met een 'machtswet': de scheurgroeisnelheid is evenredig met de spanning bij de scheurtip tot de macht n , waarbij n de corrosiesusceptibiliteit is. Hieruit volgt voor statische spanningen, $\sigma(t) = \sigma_s$, de tijd tot breuk t_s :

$$t_s = B \sigma_i^{n-2} / \sigma_s^n \quad (1)$$

In deze relatie is $1/B$ een schaalfactor voor de snelheid van de scheurgroei. Voor dynamische spanningen die lineair met de tijd toenemen, $\sigma(t) = \dot{\sigma} \cdot t$, volgt uit de 'machtswet' de (dynamische) sterkte σ_d waarbij de vezel breekt:

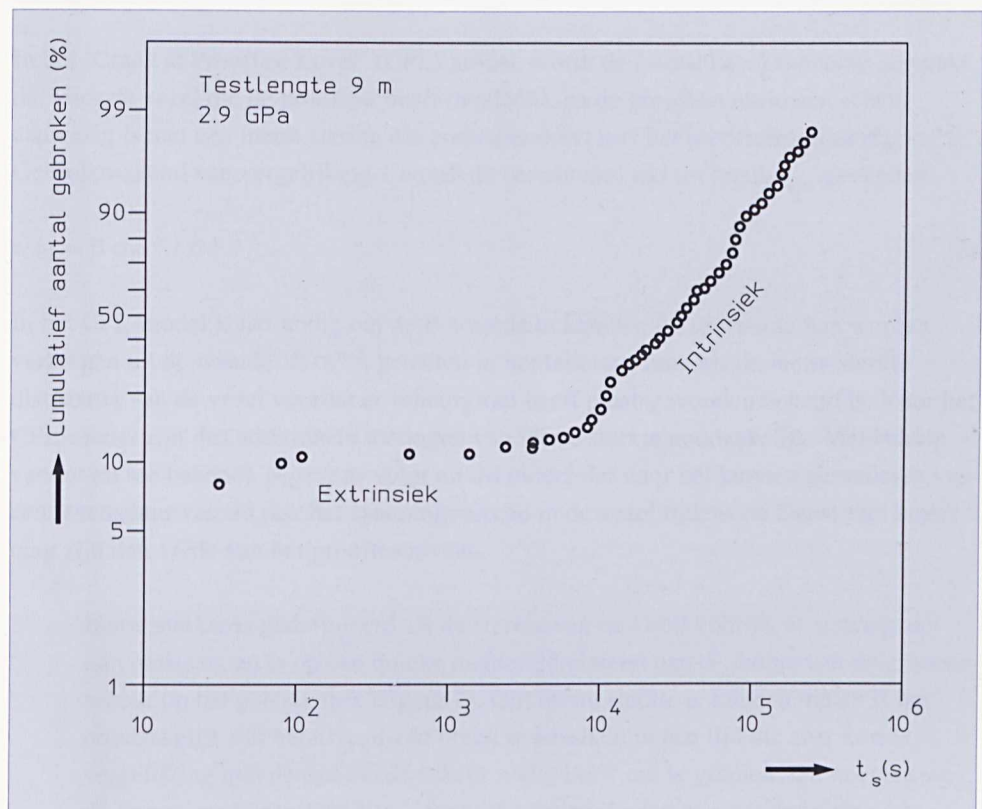
$$\sigma_d = \left[\dot{\sigma} (n+1) B \sigma_i^{n-2} \right]^{\frac{1}{n+1}} \quad (2)$$

Gebruikmakend van vergelijkingen 1 en 2 kan worden ingezien dat alleen n en $B\sigma_i^{n-2}$ bepaald kunnen worden met laboratoriumproeven bij verschillende spanningsniveaus (treksnelheden). B en σ_i kunnen niet gescheiden worden gevonden. Met andere woorden: het is niet mogelijk om verschil te maken tussen snel groeiende kleine scheurtjes (lage B , hoge σ_i) en langzaam groeiende grote scheurtjes. Extrapolatie van kort durende laboratoriummetingen onder hoge spanning naar lage spannings condities van lange duur tijdens de dienst, gebruikmakend van formule 1, is niet mogelijk vanwege een statistisch probleem. De verdelingsfunctie van de scheurdieptes is

Levensduurmodellen

namelijk bimodaal. Er bestaat een **intrinsiek** deel als gevolg van het afkoelen van de vezel nadat hij uit de preform is getrokken. Dit deel is gekarakteriseerd door een uniforme verdeling van de scheurdieptes, ook op korte stukjes vezel. Er bestaat ook een **extrinsiek** deel dat door veel effecten veroorzaakt kan zijn, zoals door stofdeeltjes uit de vezeltrekoven. Dit deel bestaat in het algemeen uit grotere scheurtjes dan die van het intrinsieke deel. Afhankelijk van de productietechniek kan het aantal van deze zwakke plekken variëren van verscheidene per kilometer tot 'bijna gehele eliminatie'. De distributie die in de laboratoria gemeten wordt voor korte lengtes representeert uitsluitend het intrinsieke deel van de scheurverdeling en hoeft dus niet dezelfde zijn als de distributie die de faaloorzaak tijdens de dienst vormt.

Figuur 4:
Voorbeeld van een Weibull-plot
van een statisch trekexperiment
(breektijd t_b) uit de literatuur
waarin zowel de intrinsieke als
de extrinsieke
scheurverdelingen voorkomen



Resumerend voor dit hoofdstuk:

De sterkte van een glasvezel wordt bepaald door scheurtjes in het oppervlak. Deze scheurtjes kunnen groeien onder invloed van mechanische spanning en omgeving (water). De zwakke plekken die in de praktijk de levensduur bepalen worden in het algemeen niet in het laboratorium gemeten.

Levensduurmodellen

Een prooftest wordt uitgevoerd door de vezelfabrikant, direct na het trekken van de vezel uit de preform. Hierbij wordt gedurende een korte tijd (ongeveer 1 s) een trekkracht van ongeveer 6 N op de vezel uitgeoefend, corresponderend met een spanning σ_p van 0.5 GPa. Tijdens deze prooftest worden de zwakste plekken geëlimineerd. Het prooftestniveau σ_p kan ook worden gebruikt om de levensduur van de vezels tijdens de dienst te schatten. In de volgende twee levensduurmodellen wordt verondersteld dat de zwakke plekken (met de prooftest is informatie over de grootte en iets over de verdeling van deze plekken verkregen) op dezelfde manier corroderen als de scheurtjes die in het laboratorium zijn onderzocht. De verwachting is dat in de praktijk verschijnselen als '**crack-blunting**' (het in de loop van de tijd minder scherp worden van de scheurtjes) voor een enigszins lagere corrosiesnelheid zorgen.

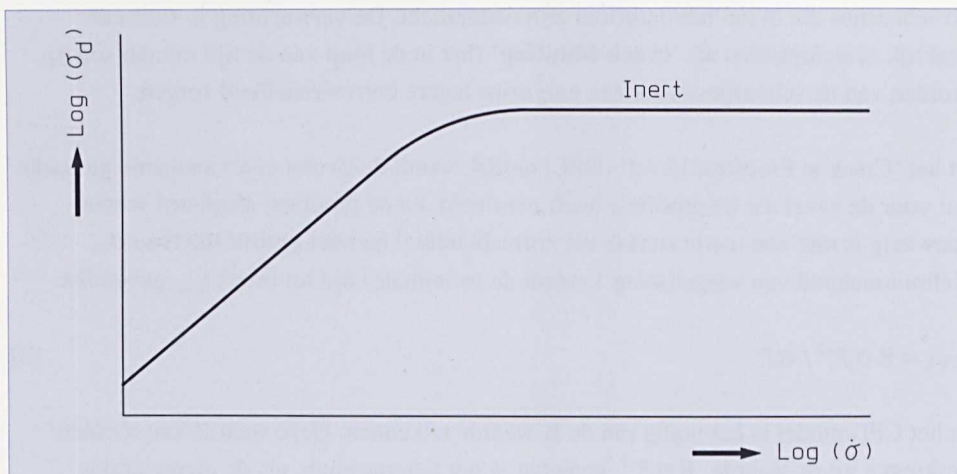
In het 'Crack at Prooftest Level' (CPL) model, wordt de (worst case) aanname gemaakt dat voor de vezel die de prooftest heeft overleefd, na de prooftest altijd een scheur aanwezig is met een inerte sterkte die correspondeert met het prooftestniveau σ_p . Gebruikmakend van vergelijking 1 wordt de (minimale) tijd tot breuk t_{CPL} gevonden:

$$t_{CPL} = B \sigma_p^{n-2} / \sigma_s^n \quad (3)$$

In het CPL-model is het nodig om de B-waarde te kennen. Deze waarde kan worden verkregen uit de waarde $B \sigma_i^{n-2}$, gemeten in het laboratorium, als de inerte sterkte distributie van de vezel voordat er scheurgroei heeft plaatsgevonden bekend is. Voor het CPL-model zijn dus additionele metingen van inerte sterkte noodzakelijk. Met behulp van tot nu toe bekende gegevens volgt uit dit model dat voor het kunnen garanderen van een levensduur van 30 jaar het spanningsniveau in de vezel tijdens de dienst niet hoger mag zijn dan 1/7de van het prooftestniveau.

Inerte sterkte is gedefinieerd als de sterkte van de vezel voordat er scheurgroei kan ontstaan, en is op een unieke manier gerelateert aan de diepte van de grootste scheur op het geteste stuk (figuur 2). Om inerte sterkte te kunnen meten is het noodzakelijk om het niveau van breuk te bereiken in een tijd die zeer kort is in vergelijking met de tijd die de scheur nodig heeft om te groeien. Dit noemen we de 'inerte-sterkte testconditie'. Statische testmethoden zijn per definitie niet geschikt om de inerte sterkte te meten vanwege het ontbreken van scheurgroei. Als de 'inerte-sterkte testconditie' eenmaal is bereikt, zullen bij een dynamische testmethode de gemeten sterkten onafhankelijk zijn van de snelheid waarmee het breekniveau is bereikt. Deze onafhankelijkheid is daarom een goed criterium om de 'inerte-sterkte testconditie' te herkennen. Als de omgeving, zoals water, niet significant bijdraagt aan de spanningsconcentratie rond de scheurtip, en dit is zeer waarschijnlijk, dan zullen de omgevingscondities waarbij de 'inerte-sterkte

- testconditie' is bereikt niet van belang zijn. Verschillende technieken om de
- inerte sterkte te meten moeten daarom vergelijkbaar zijn. De eerste bekende
- methode is het verlagen van de reactiesnelheid van de aanvaller door de
- temperatuur te verlagen, bijvoorbeeld met behulp van vloeibaar stikstof. De
- tweede methode bestaat uit het verwijderen van de aanvaller door lage
- vochtigheid of vacuüm. De derde methode is om onder normale
- omgevingscondities de vezel kapot te trekken met zeer hoge snelheid.



Figuur 5:
Uit theorie volgend verband
tussen dynamische sterkte σ_d
en treksnelheid $\dot{\sigma}$ als de inerte
sterkte wordt benaderd

In een ander model, het 'Proof test Compared Aging' (PCA) model, wordt de veroudering bij de prooftest gedurende een tijd t_p vergeleken met de veroudering tijdens de dienst. Weer gebruik makend van de 'machtswet' voor scheurgroei en van statistische informatie, zoals het uitvalspercentage F_p tijdens prooftest en de distributie van de zwakke plekken, gekarakteriseerd door de **Weibull-parameter** m_{ex} (extrinsiek), volgt een (worst case) schatting van de levensduur t_{PCA} bij een gegeven faalkans F_s tijdens de dienst.

$$t_{PCA} = t_p \cdot \left(\frac{\sigma_p}{\sigma_s} \right)^n \cdot \left[\left(1 + \frac{\ln(1 - F_s)}{\ln(1 - F_p)} \right)^{\frac{n-2}{m_{ex}}} - 1 \right] \quad (4)$$

Deze vergelijking is afgeleid voor gelijke lengtes bij prooftest en dienst waarvoor de faalkansen zijn gedefinieerd. De extrapolatie van de 'meetijd' tijdens de prooftest van ongeveer 1 seconde naar een levensduur van 30 jaar is nogal bedenkelijk. Een ander nadeel van het PCA-model is de afhankelijkheid van de informatie van de leveranciers.

Niet-lineaire elastische effecten

De Weibull-parameter m_{ex} , die alleen verkregen kan worden door zeer lange lengtes glasvezel kapot te trekken, is sterk afhankelijk van het productieproces. Het uitvalpercentage F_p wordt niet altijd door de leverancier verstrekt. Verder kan de omgevingsconditie gedurende de prooftest, die in het PCA-model gelijk wordt gesteld aan die tijdens de dienst, flink verschillen van de omgevingsconditie tijdens de dienst, zelfs wanneer ze hetzelfde zijn gespecificeerd. Onmiddellijk na het trekken van, en het aanbrengen van de coating op, de vezel zal het kwartsoppervlak zeer droog zijn. Omdat vocht van buiten een zekere tijd nodig heeft om door de primaire coating heen het kwarts oppervlak te bereiken, is de tijd tussen het trekken van de vezel uit de preform en het ondergaan van de prooftest ook van belang.

Met behulp van beschikbare gegevens, waarvan een paar gegevens op dit moment alleen nog maar door schatting kan worden verkregen, volgt dat voor een gegarandeerde levensduur van 30 jaar (faalkans van 1% op 1 km) het spanningsniveau in de vezel tijdens de dienst niet meer mag bedragen dan 1/3de van het prooftestniveau. Uitgaande van deze verhouding, die qua ontwerpmogelijkheden gunstiger is dan de verhouding van 1/7de bij het CPL-model, zijn de meeste kabels geconstrueerd.

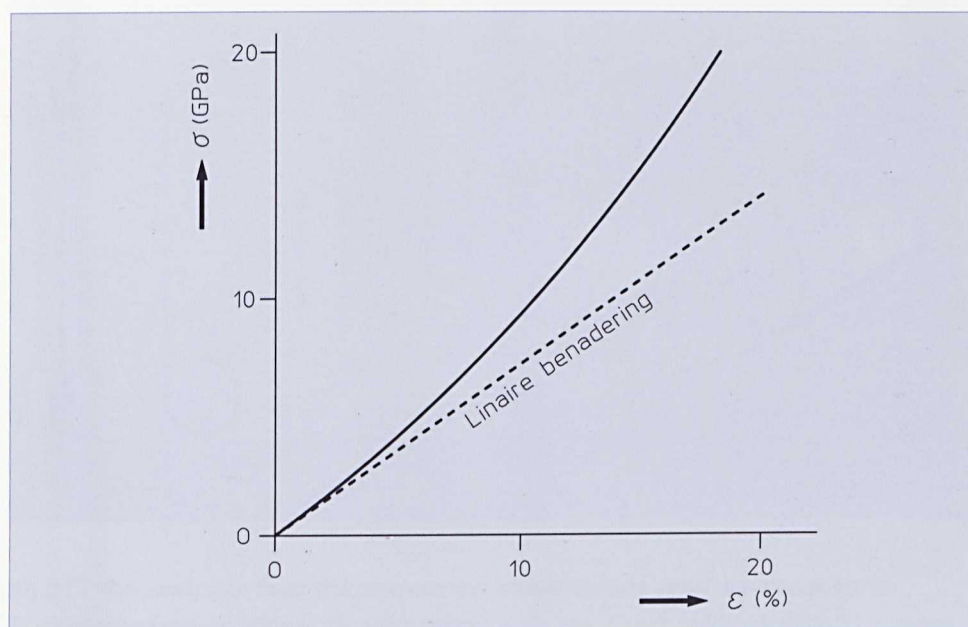
Resumerend voor dit hoofdstuk:

Met prooftests worden de zwakste plekken geëlimineerd. Deze prooftest vormt tevens de basis voor twee levensduurmodellen. Met het CPL-model, waarvoor ook de inerte sterkte gemeten moet zijn, volgt een maximaal spanningsniveau tijdens de dienst van 1/7de van het prooftestniveau. Bij het PCA-model is dit maximaal 1/3de van het prooftestniveau, maar dit model is mede gebaseerd op onzekere gegevens van de fabrikant. Specificatie van de minimumtijd tussen vezelfabricage en prooftesten is gewenst.

Niet-lineaire elastische effecten

In de theorie waarin het corrosiegedrag van de glasvezel is afgeleid is de aanname gemaakt dat er een lineaire relatie tussen spanning en rek (constante Elasticiteitsmodulus) van de glasvezel bestaat. Dit is niet het geval, zoals in figuur 6 te zien is. Met name als de optredende spanningen zeer groot zijn is de afwijking van de lineaire relatie groot. In de berekening van spanningsconcentraties rond scheuren, en het daaruit bepalen hoe de scheur groeit, is er altijd van uit gegaan dat slechts een klein deel van de scheur, namelijk de scheurtip, onder hoge spanning staat. De lineaire elastische benadering lijkt hierbij gerechtvaardigd. In de tijd dat de theorie is afgeleid waren er echter nog geen glasvezels met zo'n hoge (inerte) sterkte. In de nu kleine scheurtjes met relatief grote scheurtip komen nu wel zeer hoge spanningen voor (zelfs de aangelegde spanning is al zeer hoog), zodat de lineaire elastische benadering niet langer meer houdbaar is. Berekeningen aan het corrosiegedrag van glasvezels waarin het **niet-lineaire elastische** gedrag is meegenomen zijn nog niet voorhanden, maar wel noodzakelijk voor een goed levensduurmodel.

Figuur 6:
Niet-lineaire relatie tussen
spanning σ en rek ϵ bij een
glasvezel



Correcties voor het niet-lineaire elastische gedrag van de glasvezel worden vaak wel toegepast op de interpretatie van de meetresultaten, althans wat betreft de aangelegde spanningen. Met name bij de buig-breekproeven voor de bepaling van de inerte sterkte is dit van groot belang. Alle gepresenteerde metingen in deze monografie en hun interpretaties zijn wat betreft de aangelegde spanning gecorrigeerd voor niet-lineair elastisch gedrag (correcties voor gemeten sterktes tot 50% en voor gemeten corrosie-susceptibiliteiten tot 25%).

- **Resumerend voor dit hoofdstuk:**

- In de berekeningen van de aangelegde spanningen in de vezel zijn niet-lineaire elastische correcties groot, en gemakkelijk uit te voeren. Het doorrekenen van dit niet-lineair elastische effect in de spanningsconcentratie rond scheuren en het resulterende scheurgroeigedrag, hetgeen waarschijnlijk belangrijk is, is op dit moment nog niet gedaan.
-



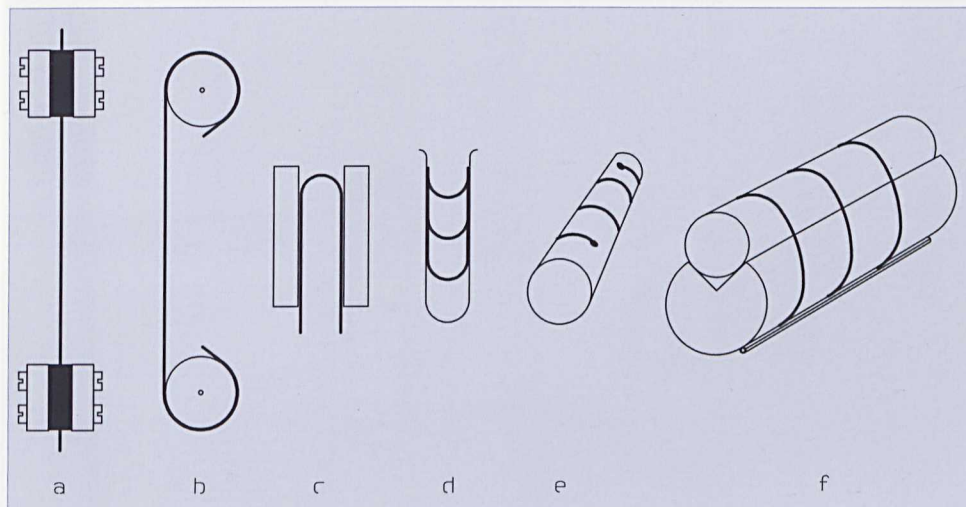
Meetmethoden

Er zijn vele methoden bekend om vezels op sterkte te testen. Ze zijn vrijwel allemaal destructief van aard. Deze methoden worden opgedeeld in twee soorten. De eerste soort is de **statische methode**, waarbij de vezels op een statische mechanische spanning worden gezet en de tijd tot breuk wordt gemeten (zie vergelijking 1). De tweede soort is een **dynamische methode**, waarbij de mechanische spanning in de vezel in de tijd toeneemt en de sterkte bij breuk wordt gemeten (zie vergelijking 2). Voordelen van de laatstgenoemde methode zijn de mogelijkheid voor het meten van inerte strekte en het feit dat de tijd van wachten op de meetresultaten zelf gekozen kan worden. Nadeel van laatstgenoemde methode is dat het erg moeilijk is om daarmee meerdere vezels tegelijk te testen. De genoemde meetmethoden kunnen nog verder worden opgesplitst. Het toedienen van de spanning kan in beide methoden worden verkregen door zowel trekken als buigen van de vezel (bij laatstgenoemde zal alleen de naar buiten gekeerde kant van de gebogen vezel onder mechanische trekspanning staan). In figuur 7 zijn enige meetmethoden geschetst.

Figuur 7:

Enige meetmethoden:

- a) trekken aan vastgekleemde vezel,
- b) trekken aan vezel op een 'pulley',
- c) buig-breekproef (alle statisch en/of dynamisch)
- en
- d) vezels in een buisje,
- e) enkele mandrel en
- f) dubbele mandrel (alle statisch)



Bij PTT Research zijn twee trekproeven met vastgekleemde vezel aanwezig. In de **dynamische trekopstelling**, die gemonteerd is op een Zwick trekbank (foto 1), kunnen vezels één voor één bij verschillende treksnelheden worden stukgetrokken. In de **statische trekopstelling** kunnen 40 vezels tegelijk op spanning worden gezet en gebroken (foto 2). In beide opstellingen is speciale aandacht geschonken aan de inklemming van de vezels. De inklemkracht neemt vanaf het gespannen deel slechts langzaam toe zodat de vezels niet allemaal op de inklemming zelf breken.

Bij PTT Research zijn ook nog testmethoden waarbij de vezel gebogen wordt aanwezig. De eerste methode is de **dubbele-mandrelproef** (figuur 8). Een dun kwarts teststaafje

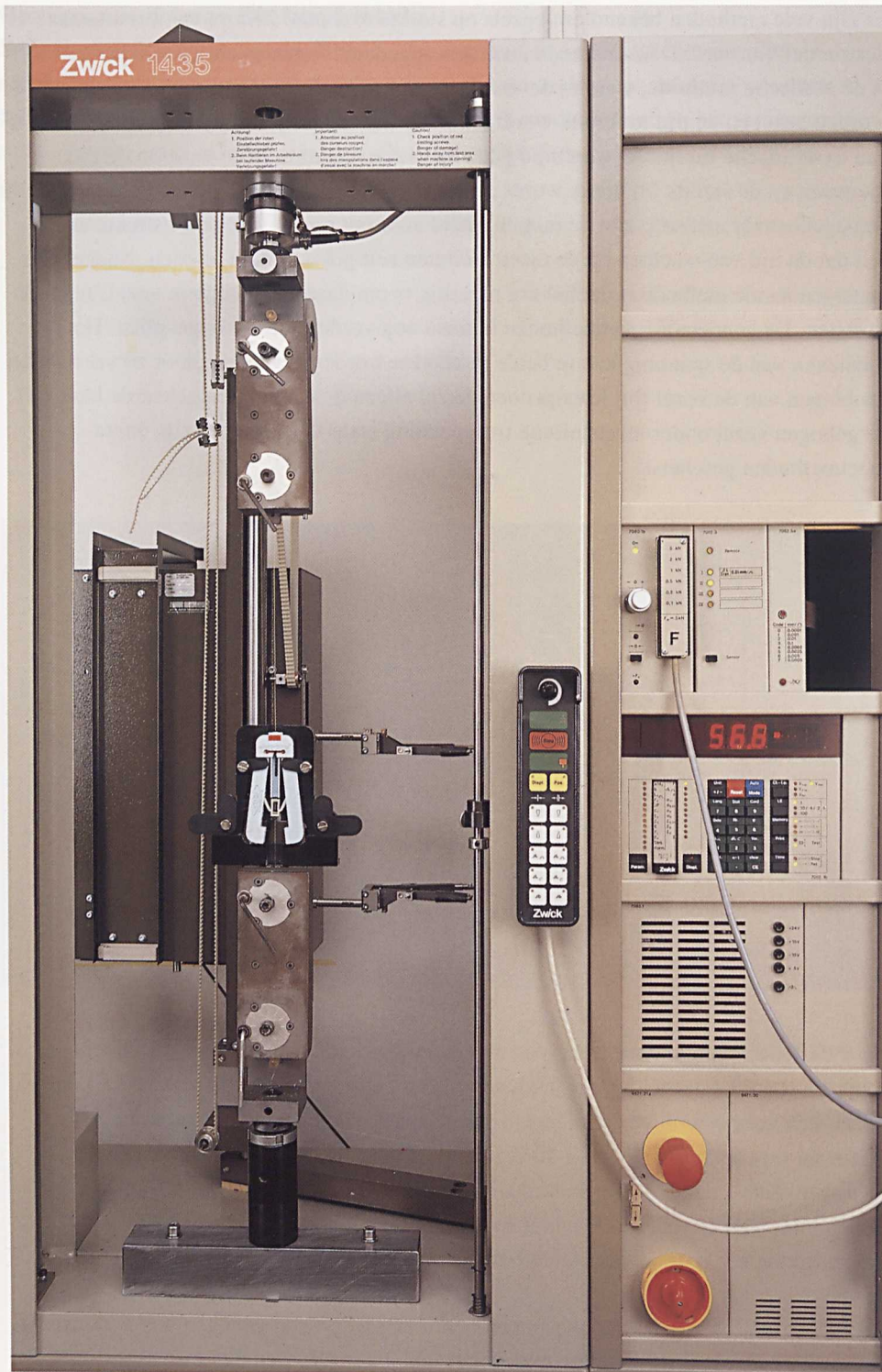
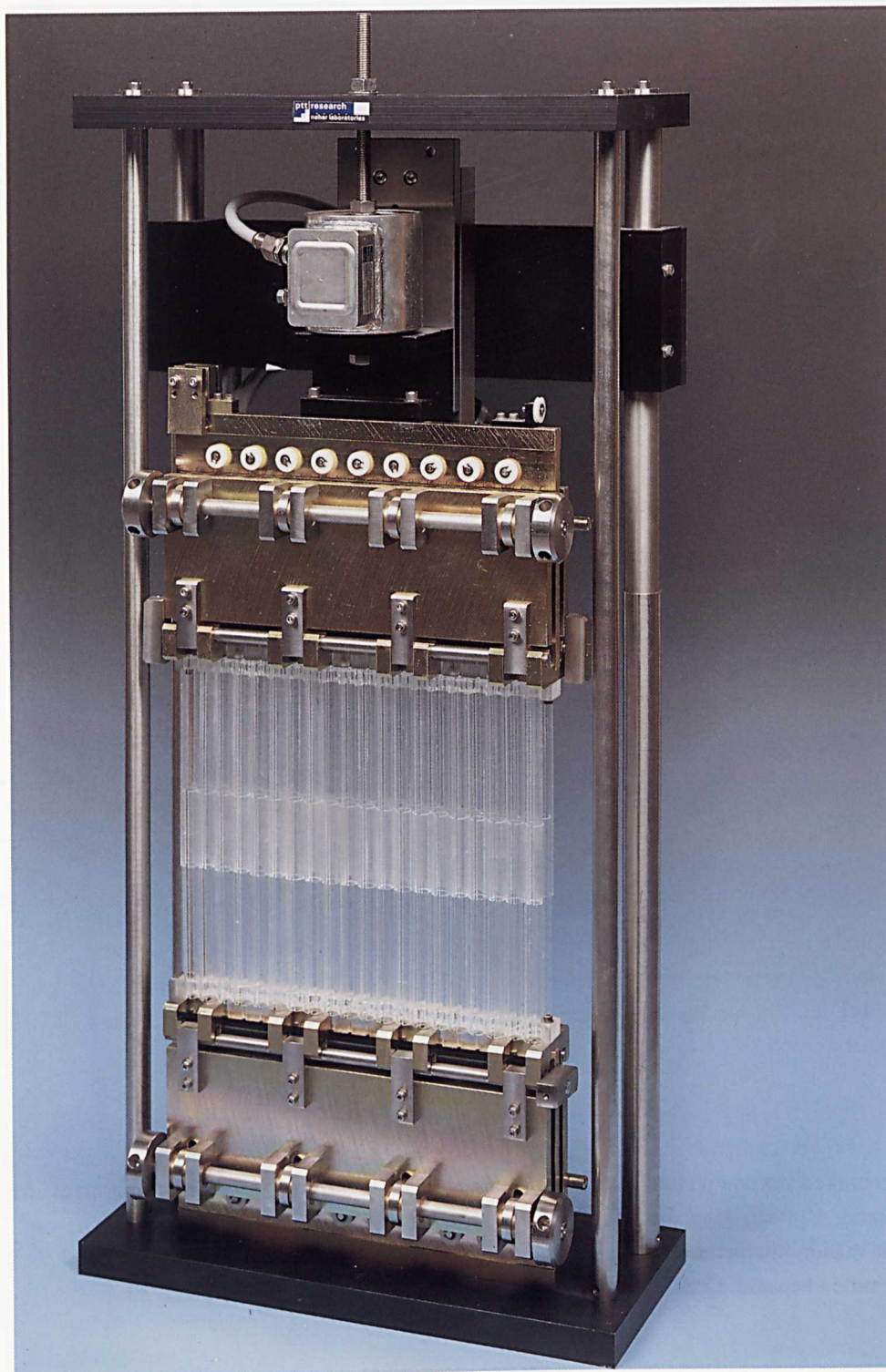
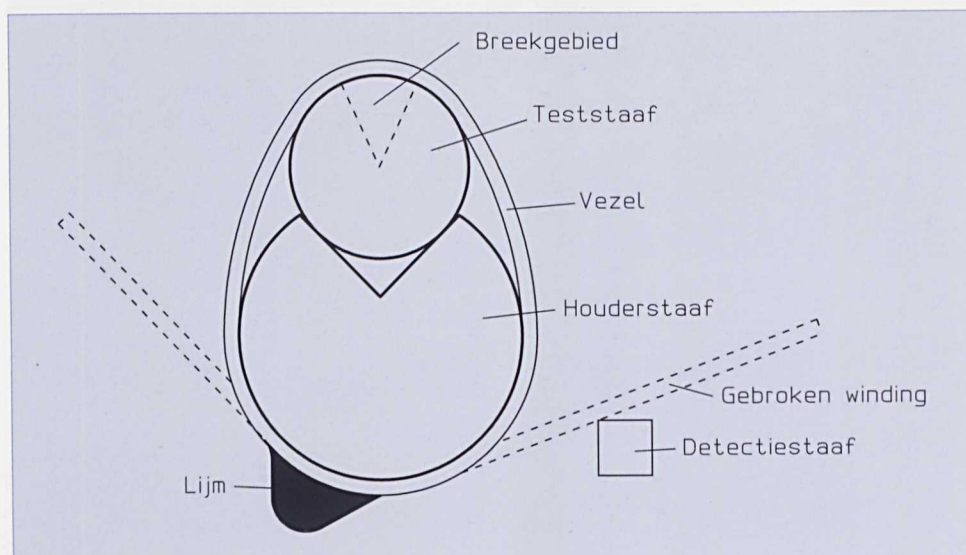


Foto 1:
Dynamische trekopstelling (hier
samen afgebeeld met een
meetvoorziening voor de
mechanische strijkracht van de
primaire coating en de sterkte
na het strippen)

Foto 2:
Statische trekopstelling voor 40
glasvezels



- met hoge precisie is in een V-groef van een dikker houderstaafje gemonteerd. Rond
- deze staafjes worden ongeveer 140 wikkelingen van de glasvezel onder kleine,
- constante spanning opgewikkeld. De wikkelingen worden van elkaar gescheiden door ze
- op het houderstaafje vast te lijmen. Omdat de breekwaarschijnlijkheid snel afneemt met
- toenemende buigstraal van de vezel, zal de verlijming op het dikke houderstaafje weinig
- invloed hebben op de breetijden en zullen de breuken alleen optreden in het gebied
- waar de vezel op het teststaafje ligt. Een akoestische transducer (piezo-element) is op
- een detectiestaafje vlak naast de dubbele mandrel gemonteerd, zodat brekende vezels
- (die tegen genoemd detectiestaafje schieten) kunnen worden gedetecteerd. Met behulp
- van een computer worden de breetijden geregistreerd en verwerkt.



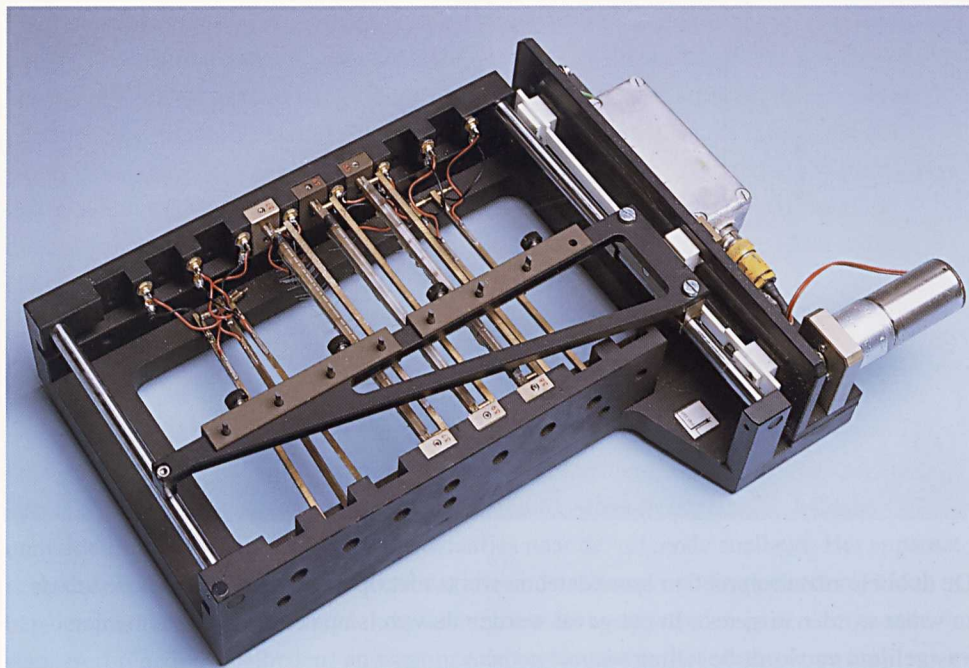
Figuur 8:
Schematische weergave van de
dubbele-mandrelproef

Soms breekt de primaire coating niet tegelijk met de vezel. Door vlak boven de windingen een mesje te laten bewegen (foto 3) zal de primaire coating van de gebroken vezel, die dan een beetje is opgelicht, even later alsnog breken zodat detectie kan plaatsvinden.

In figuur 9 is het resultaat van een dubbel-mandrelexperiment aan een standaardvezel (A) bij verschillende staafdiameters als voorbeeld gegeven, waarbij het percentage gebroken vezels (Weibull-schaal) uitstaat tegen de (logaritme) van de tijd t_s tot breuk. In figuur 10 staan de mediaanwaarden van de tijd tot breuk van figuur 9 uit als functie van de mandreldiameter. Uit de helling in deze figuur kan de **corrosiesusceptibiliteit** n worden bepaald. Deze ligt in de meeste gevallen ongeveer tussen de 20 en 30.

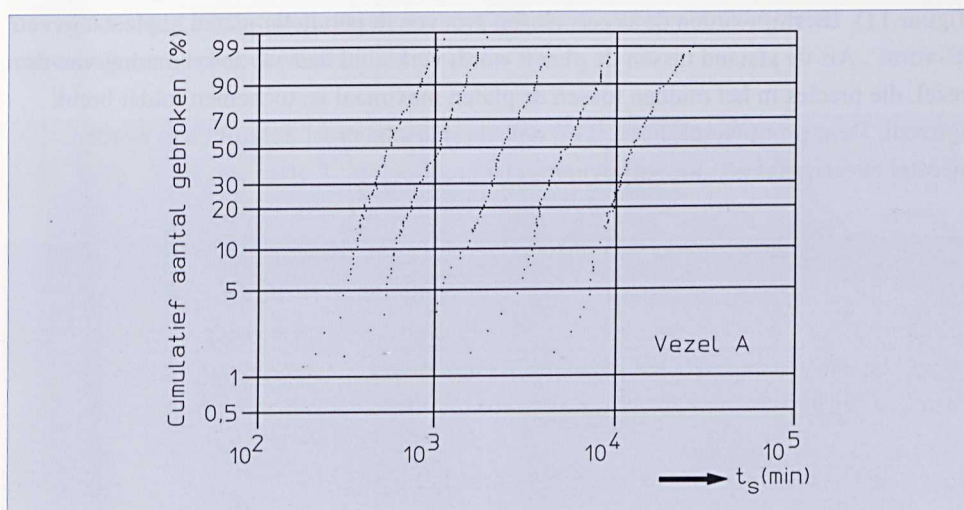
Foto 3:

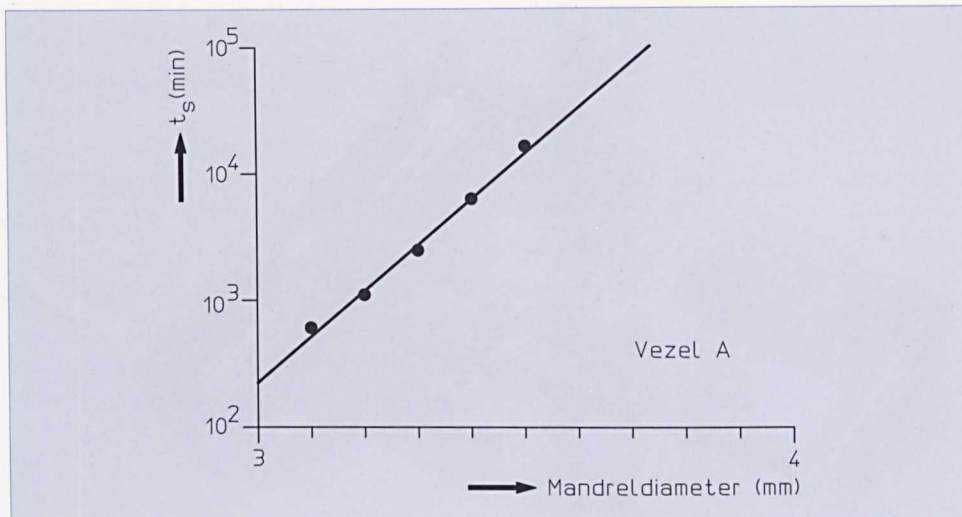
Dubbele-mandrelproef
(met bewegende mesjes)



Figuur 9:

Voorbeeld van dubbele-
mandrelmetingen bij
verschillende staafdiameters,
waarbij het percentage
gebroken vezels (Weibull-
schaal) uitstaat tegen de
(logaritme) van de tijd t_s tot
breuk

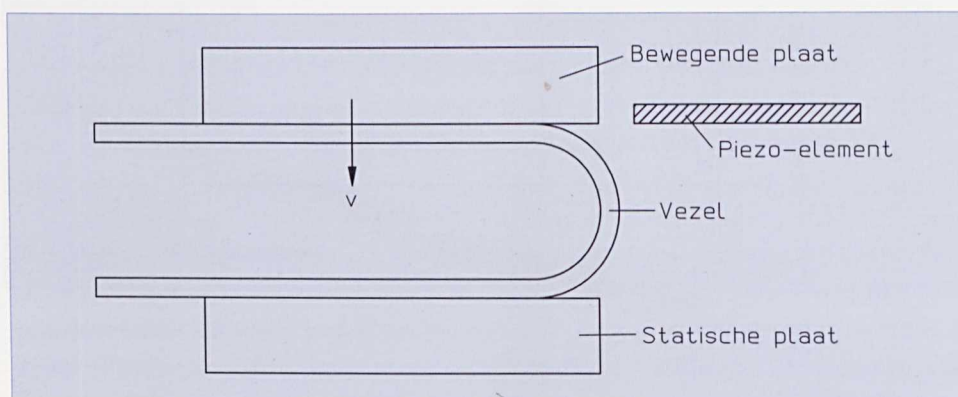




Figuur 10:
Mediaanwaarden van de tijd t_s tot breuk uit figuur 9, uitgezet tegen de mandreldiameter. Uit de helling van de grafiek volgt de corrosiesusceptibiliteit n

De dubbele-mandrelproef en breukdetectie werkt niet op dezelfde manier als de vezels in water worden uitgetest. In dat geval worden de vezels op een iets andere manier vastgelijmd en wordt de telling visueel gedaan.

De tweede methode waarin de vezel gebroken wordt door buigen is de **buig-breekproef** (figuur 11). Hierbij worden de vezels tussen groeven in parallelle platen geplaatst in een 'U-vorm'. Als de afstand tussen de platen wordt verkleind dan zal de kromming van de vezel, die precies in het midden tussen de platen maximaal is, toenemen totdat breuk optreedt. Deze proef wordt, hoewel hij ook als statische proef gebruikt kan worden, meestal alleen maar gebruikt als dynamische proef.



Figuur 11:
Schematische weergave van de buig-breekproef

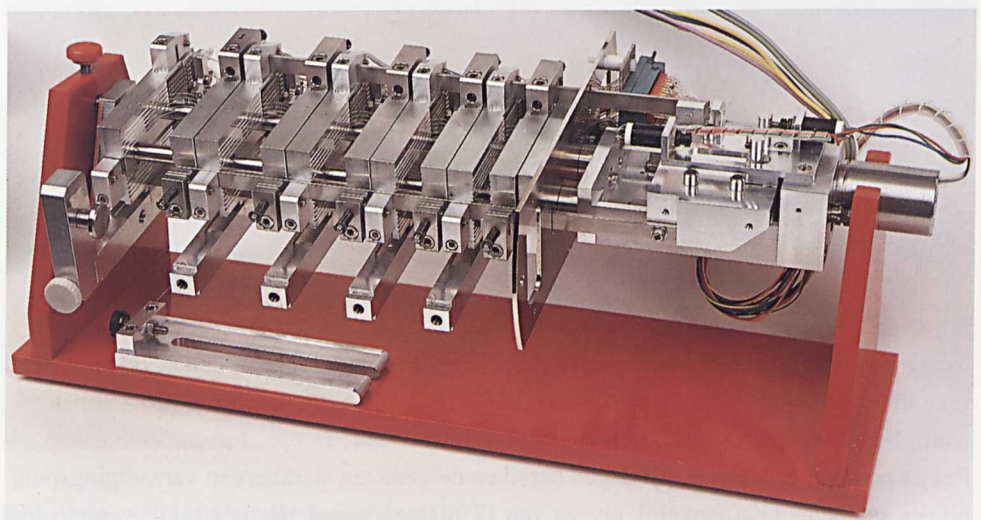
De buig-breekproef is door PTT Research verder ontwikkeld tot een proef waarin meerdere vezels tegelijkertijd kunnen worden getest (foto 4). Vijf bewegende platen, elk

met tien vezel-positioneergroeven, kunnen bewegen naar vijf stilstaande gegroefde platen. De vezels worden tussen de platen geplaatst in tien parallelle 'U-vormen'. De bewegende platen worden aangedreven door drie bewegende staafjes, die verbonden zijn met een speciaal gelagerde slede, aangedreven door een stappenmotor die ook werkt in vacuüm. Net voordat de platen raken, en nadat de vezels tussen die platen zijn gebroken, wordt de bewegende plaat ontkoppeld van de drie aandrijfstaafjes door middel van zich via een speciaal mechanisme ontkoppelende pinnetjes. Met deze constructie is het mogelijk de platen op verschillende tijden te sluiten.

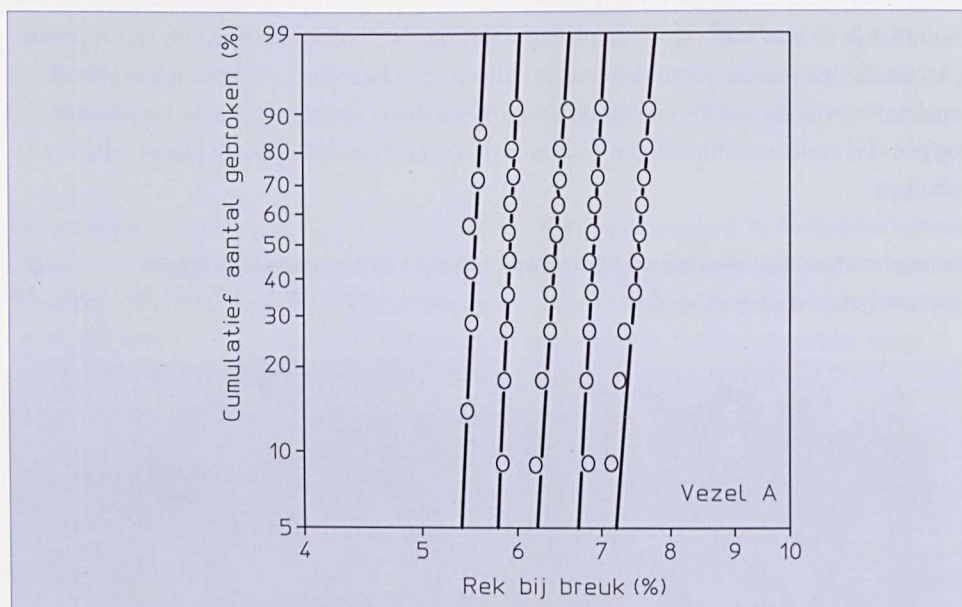
Met deze proef is het dus mogelijk om vijf sets van tien vezels te breken, elk met vijf verschillende snelheden in één enkele experimentele 'run'. Het breken van de vezels wordt gedetecteerd door middel van individuele piezo- elementen (zie ook figuur 11). Deze piezo-elementen zijn verbonden met een regeleenheid. Na de detectie van alle vezels tussen een set platen bij een zekere snelheid, schakelt deze regeleenheid onmiddellijk de snelheid van de aandrijfstaafjes naar de volgende snelheid. Het apparaat is op dusdanige manier geconstrueerd dat alleen de scheurgroei die optreedt bij breuk bepalend is voor de sterkte en niet de scheurgroei die is opgetreden in de voorgaande stappen (bij andere snelheden) en waarmee de vezels tussen de andere platen zijn gebroken.

De regeleenheid kan worden uitgelezen met behulp van een computer die de meetresultaten verder verwerkt.

Foto 4:
Buig-breekproef



- Voor de buig-breekproef is een speciale vacuümbus geconstrueerd die kan worden leegepompt met een turbomoleculairpomp. Het geheel van vacuümbus en buig-breekproef is ook geschikt gemaakt om te kunnen werken in vloeibare stikstof. Er kunnen dus inerte-sterktemetingen onder twee soorten 'inerte-sterkte testcondities' worden verricht.
- In figuur 12 is als voorbeeld een Weibull-plot gegeven van de rek bij breuk, verkregen met de buig-breekproef aan een standaard monomodus vezel (A) bij 'kamerconditie', bij verschillende plaatsnelheden. In figuur 13 zijn de mediaanwaarden van de rek bij breuk uit figuur 12 weergegeven als functie van de plaatsnelheid. Uit de helling in deze figuur kan de **corrosie-susceptibiliteit** worden bepaald. Deze ligt in de meeste gevallen weer ongeveer tussen de 20 en 30. In deze figuur is ook nog een andere vezel (B) weergegeven, alsmede twee koolstof gecoate vezels (C en D met n-waarde van ∞).



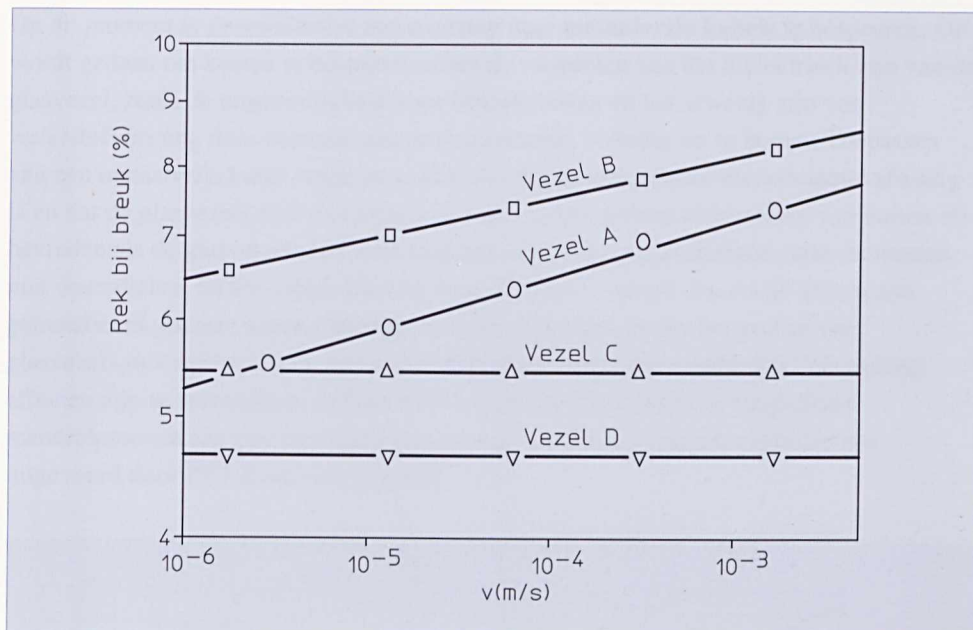
Figuur 12:
Voorbeeld van een Weibull-plot
van de rek bij breuk verkregen
met de buig-breekproef bij
5 verschillende plaatsnelheden

In figuur 14 zijn weer de mediaanwaarden van de rek bij breuk (vezel A) uit figuur 12 weergegeven als functie van de plaatsnelheid. Tevens zijn deze waarden gegeven voor verschillende pomptijden. Een vacuüm van $5 \cdot 10^{-5}$, 10^{-5} , $5 \cdot 10^{-6}$ en $3 \cdot 10^{-6}$ mbar wordt bereikt na pompen gedurende respectievelijk 2 uur, 15 uur, 2 dagen en 5 dagen. Pas na pompen gedurende vijf dagen bereiken de gemeten sterktes een verzadigingspunt bij een snelheids-onafhankelijk niveau van 17%. Deze waarde is dicht bij de waarde die is verkregen met buig-breekproeven bij vloeibaar stikstof. Het maximaal toegestane spanningsniveau tijdens de dienst van 1/7de van het prooftestniveau, zoals dit in hoofdstuk 2 is genoemd, is mede gebaseerd op het hier gemeten inerte-sterkteniveau.

Spanningsonafhankelijke effecten (in water)

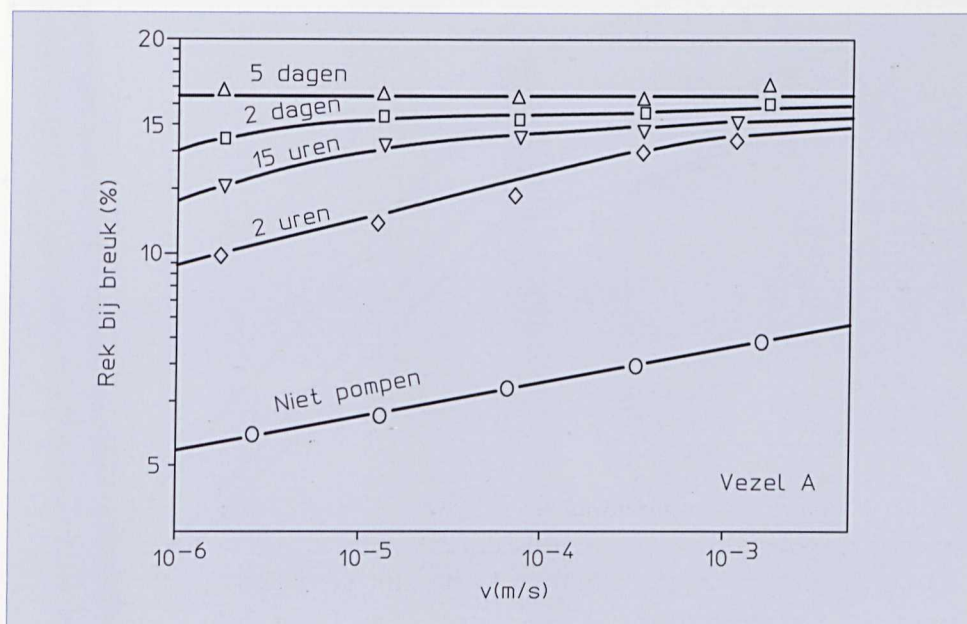
Figuur 13:

Mediaan waarden van de rek bij breuk van figuur 12 (vezel A) als functie van de plaatsnelheid v . Uit de helling van de grafiek volgt de corrosiesusceptibiliteit. In deze figuur is ook nog een andere vezel weergegeven (vezel B), alsmede twee koolstof gecoate vezels (vezel C en D)



Figuur 14:

Mediaanwaarden van de rek bij breuk van figuur 12 (vezel A) als functie van de plaatsnelheid v . Deze waarden zijn ook weergegeven voor verschillende pomptijden. Let op de van figuur 13 afwijkende verticale schaal



Resumerend voor dit hoofdstuk:

Binnen PTT Research kunnen zowel statische en dynamische trekproeven, als mandrelproeven en buig-breekproeven worden uitgevoerd. Meten van de inerte sterkte is ook mogelijk.

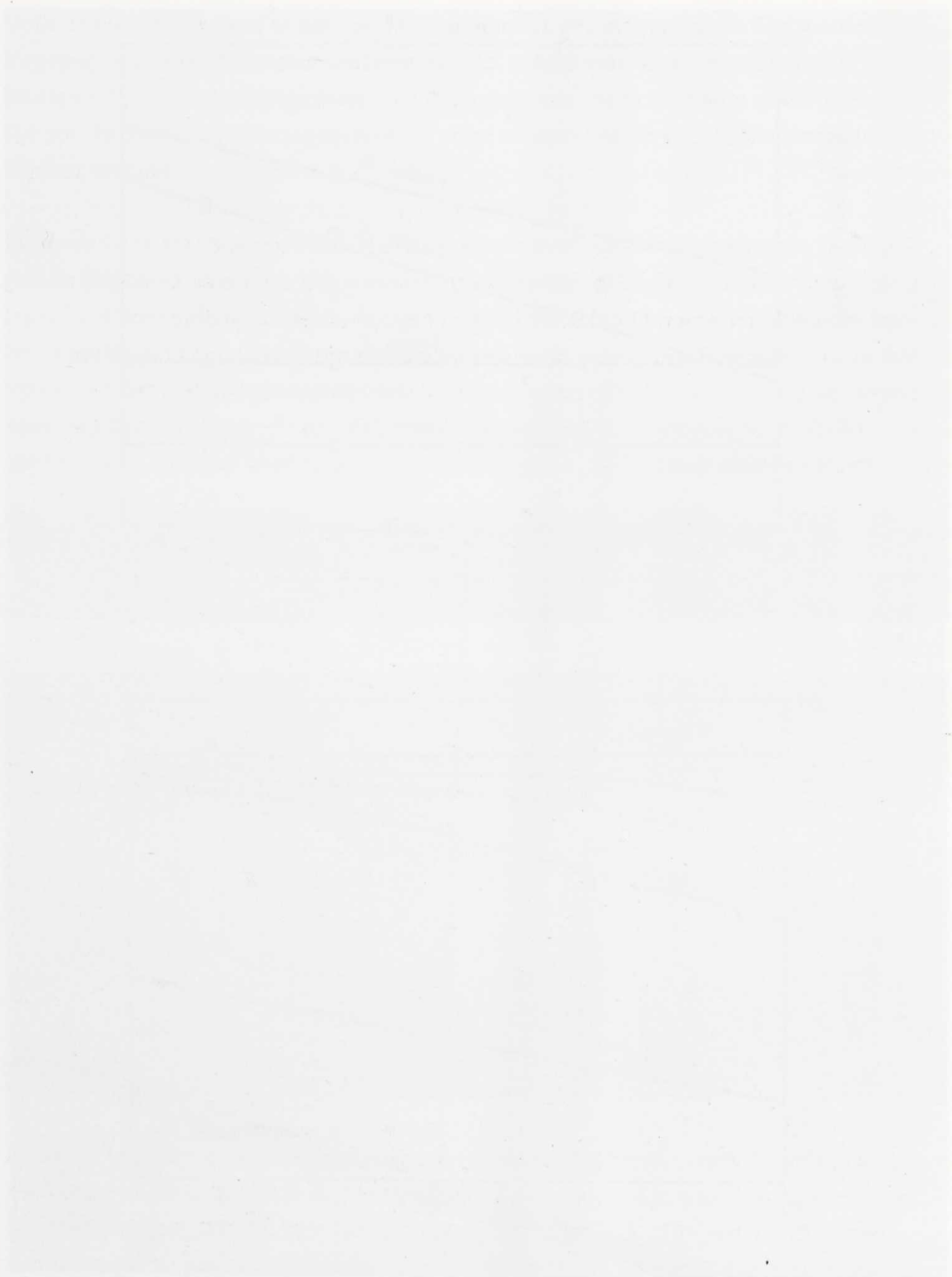


Figure 1
 The figure shows the results of the experiment. The data is presented in a table format, showing the relationship between the independent variable (X-axis) and the dependent variable (Y-axis). The table includes columns for the independent variable, the dependent variable, and the calculated values. The data points are plotted on a graph, showing a clear trend. The graph is labeled with the independent variable on the X-axis and the dependent variable on the Y-axis. The data points are connected by a line, showing the overall trend of the experiment. The graph is labeled with the independent variable on the X-axis and the dependent variable on the Y-axis. The data points are connected by a line, showing the overall trend of the experiment.

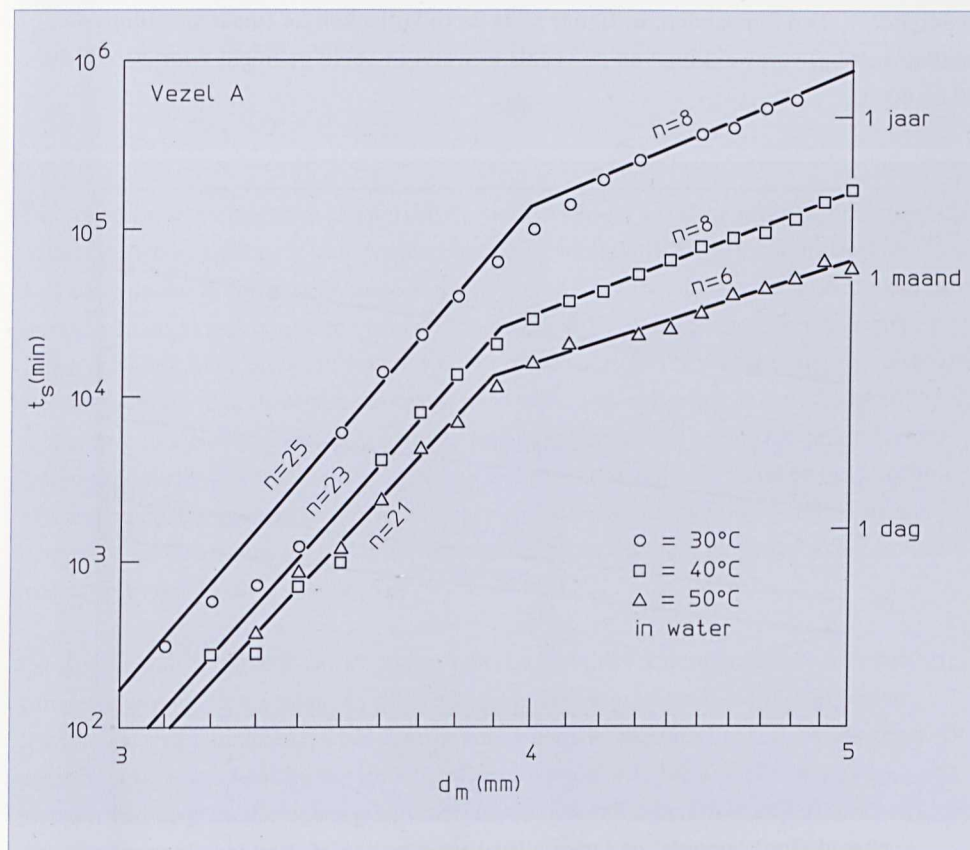
Figure 2
 The figure shows the results of the experiment. The data is presented in a table format, showing the relationship between the independent variable (X-axis) and the dependent variable (Y-axis). The table includes columns for the independent variable, the dependent variable, and the calculated values. The data points are plotted on a graph, showing a clear trend. The graph is labeled with the independent variable on the X-axis and the dependent variable on the Y-axis. The data points are connected by a line, showing the overall trend of the experiment. The graph is labeled with the independent variable on the X-axis and the dependent variable on the Y-axis. The data points are connected by a line, showing the overall trend of the experiment.

Figure 3
 The figure shows the results of the experiment. The data is presented in a table format, showing the relationship between the independent variable (X-axis) and the dependent variable (Y-axis). The table includes columns for the independent variable, the dependent variable, and the calculated values. The data points are plotted on a graph, showing a clear trend. The graph is labeled with the independent variable on the X-axis and the dependent variable on the Y-axis. The data points are connected by a line, showing the overall trend of the experiment. The graph is labeled with the independent variable on the X-axis and the dependent variable on the Y-axis. The data points are connected by a line, showing the overall trend of the experiment.

Spanningsonafhankelijke effecten (in water)

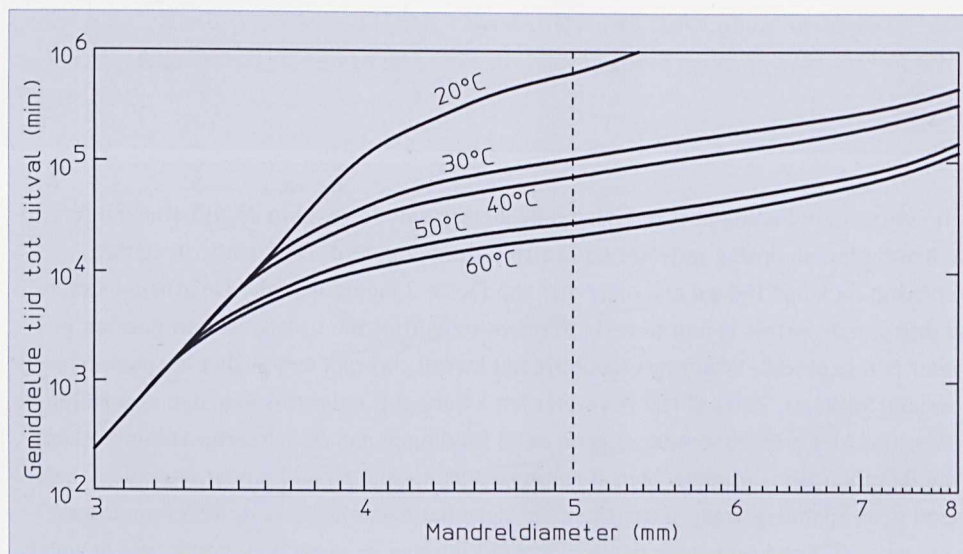
Op dit moment is er wereldwijd een overstap naar **metaalvrije kabels** te bespeuren. Dit wordt gedaan om kosten te besparen en om de voordelen van het diëlektrisch zijn van de glasvezel, zoals de ongevoeligheid voor blikseminslag en het afwezig zijn van waterstofvorming door corrosie aan de metaaldelen, volledig uit te buiten. Toepassen van een metaalvrije kabel betekent echter wel dat de waterdichte metaalmantel afwezig is en dat de glasvezels zich dus geheel in water (en/of andere vloeistoffen van buiten af) bevinden als de glasvezelkabel zich daar ook in bevindt. In Nederland staan de meeste, niet waterdichte, HDPE (High Density Poly Ethylene) buizen waarin de kabels zijn geïnstalleerd vol met water. Om deze redenen is het zinvol om het gedrag van glasvezels in water te testen, met name gedurende lange tijd, omdat dan ook coating effecten zijn te verwachten. In figuur 15 worden de resultaten van langlopende mandrelproeven aan een standaard monomodusvezel (A) in water, zoals die zijn uitgevoerd door PTT Research, gegeven.

Figuur 15:
Mediaan van de breektijden t_b
als functie van de mandrel-
diameter d_m bij dubbele
mandrelproeven in water van
30, 40 en 50 °C



Duidelijk zijn hier de beruchte knikken in het corrosiegedrag van de glasvezel te zien. Gemeten waarden van de corrosiesusceptibiliteit n na de knik van ongeveer 7,

- verandering van de zuurgraad van de omgeving en het vollopen van de scheurtjes met water. Het gedrag van de glasvezel, zoals in deze paragraaf beschreven, blijft dan hetzelfde als bij het loslaten van de coating.
-
- De combinatie van het verzwakken van de vezel die (spanningsloos) is opgeslagen in water, als puur tijdseffect, en het corroderen van de vezel onder spanning (met constante n-waarden van 20, zoals volgt uit figuur 16) levert plaatjes op die een sterke overeenkomst vertonen met de langlopende mandrelproeven in water, inclusief de 'knikken', zoals getoond wordt in figuur 18. Dit zou kunnen betekenen dat er helemaal niet met n-waarde van 7 na de knik gerekend hoeft te worden en dat de vezels misschien veel langer meegaan. Bedenk dat deze theorie nog kersvers is en nog op internationale acceptatie wacht. Een bijdrage, handelend over dit onderwerp, is geschreven voor Electronics Letters (zie literatuurlijst).



Figuur 18:
Breektijden als functie van
mandreldiameter, berekend uit
buig-breekproeven na opslag in
water. Het gebied links van de
stippellijn is hetzelfde als dat in
figuur 15

Om de relatie tussen de **buig-breekproef** na opslag in water en de **langlopende mandrelproef** in water beter te kunnen bestuderen zijn nog wel aanvullende experimenten nodig, zoals buig-breekproeven in dezelfde condities als waarin de vezel is opgeslagen geweest. Ook langlopende mandrelproeven in water bij zeer grote staafdiameters (zo'n 10 mm) aan vezels die zijn verouderd in warm water zouden het inzicht aanzienlijk verhogen. Ver na de 'knik', als het spanningsonafhankelijke tijdseffect is verzadigd (als bijvoorbeeld de coating geheel los ligt) wordt namelijk weer normaal corrosiegedrag verwacht. Dit wordt ook voorspeld uit het berekende 'terugknikken', zoals in figuur 18 is te zien rechts van de stippellijn. Beide genoemde experimenten zijn bij PTT Research in voorbereiding.

Corrosie van mechanische spanningen

Resumerend voor dit hoofdstuk:

Met langlopende mandrelproeven in water zijn knikken in het corrosiegedrag gevonden. Hieruit volgen onrealiseerbare specificaties voor een metaalvrije kabel. Met buigbreekproeven na opslag in water is aangetoond dat een spanningsonafhankelijk tijdseffect, waarschijnlijk het loslaten van de primaire coating, de oorzaak is van deze knikken. Met dit nieuwe inzicht zijn metaalvrije kabels wellicht toch nog mogelijk. Hiervoor wordt nog wel nader onderzoek noodzakelijk geacht.

- The first step in the process is to identify the problem or issue that needs to be addressed.
- This involves gathering information and data to understand the situation fully.
- Once the problem is identified, the next step is to develop a plan of action.
- This plan should outline the steps that need to be taken to solve the problem.
- It should also specify who is responsible for each step and when it should be completed.

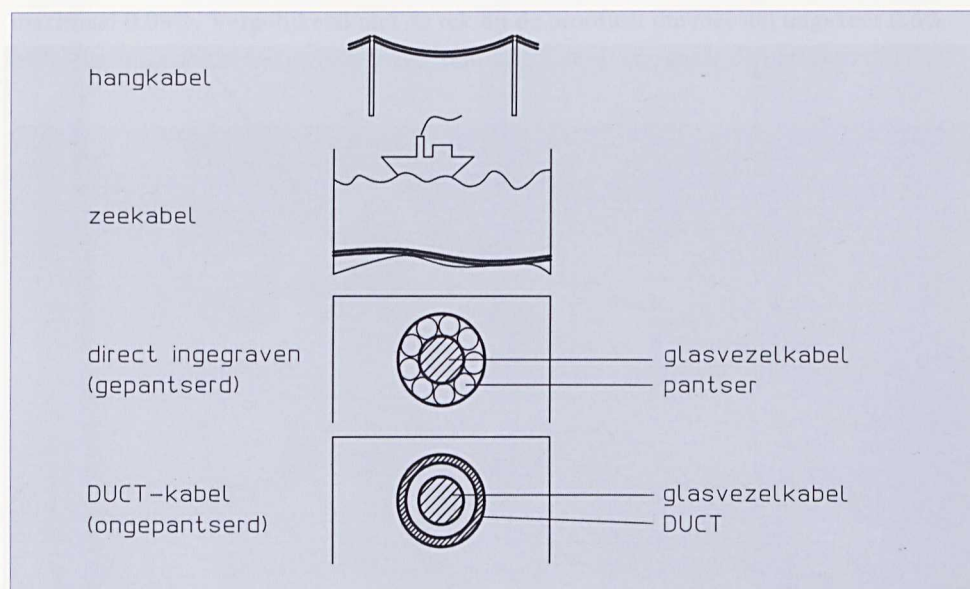


The following table provides a summary of the key findings from the research. It shows the relationship between the variables studied and the outcomes observed. The data indicates that there is a significant positive correlation between the variables, suggesting that as one variable increases, the other also tends to increase. This finding is supported by the statistical analysis conducted, which shows a high level of significance. The results of this study have important implications for the field of research, as they provide new insights into the relationship between the variables. Further research is needed to explore the underlying mechanisms that drive these relationships and to test the findings in different contexts. The study also highlights the need for more comprehensive data collection and analysis to fully understand the complexities of the phenomenon being studied. Overall, the findings of this research contribute to the existing knowledge in the field and provide a foundation for future studies.

Oorzaken van mechanische spanningen

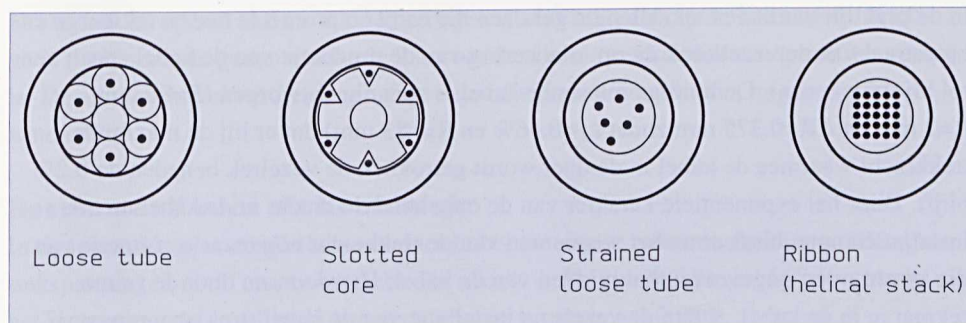
Er zijn verschillende types glasvezelkabel in omloop, waarin op verschillende manieren spanning, die (voor een deel) wordt overgedragen op de glasvezel, kan komen te staan. In figuur 19 zijn een aantal types gegeven. In Nederland is vooral de duct-kabel van belang en hiervoor zullen in deze monografie de mogelijke spanningen worden bekeken.

Figuur 19:
Glasvezelkabel types



De constructie van de ziel van de kabel is belangrijk voor de mate waarin de spanningen in de kabel op de vezels worden overgedragen. In figuur 20 zijn wat constructies voor de kabelziel gegeven. De Nederlandse PTT gebruikt voor het internode net alleen de **loose tube constructie**, en hierop zal deze monografie zich dan ook richten (in de toekomst moet echter ook de abonneekabel, die een '**strained loose-tube**' constructie heeft, op het punt van maximale spanning in de vezels worden bestudeerd).

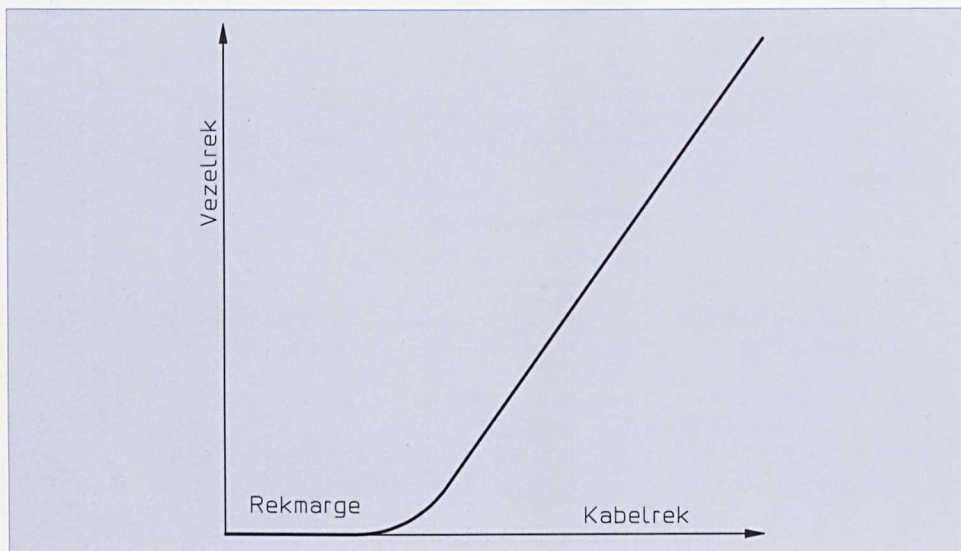
Figuur 20:
Verschillende constructies voor
de kabelziel



Een loose tube kabel bezit een **rekmargin** ϵ_r waarmee de kabel gerekt kan worden

- zonder dat de vezel meerekt. Deze volgt uit de kabelparameters slaglengte (spoed) S , slagstraal R en vrije (radiële) ruimte van de vezel in de loose tube ΔR .

$$\epsilon_r = \frac{4\pi^2}{S^2} \cdot R \cdot \Delta R \quad (5)$$



Figuur 21:
Voorbeeld van een loose tube
kabel met rekmargin

De keus van spoedlengte, om een zo groot mogelijke rekmargin te verkrijgen, is niet vrij. Een tegenstrijdige eis (om zowel mechanische als optische redenen) is dat de **buigstraal** R_B van de vezel boven een bepaald minimum moet blijven.

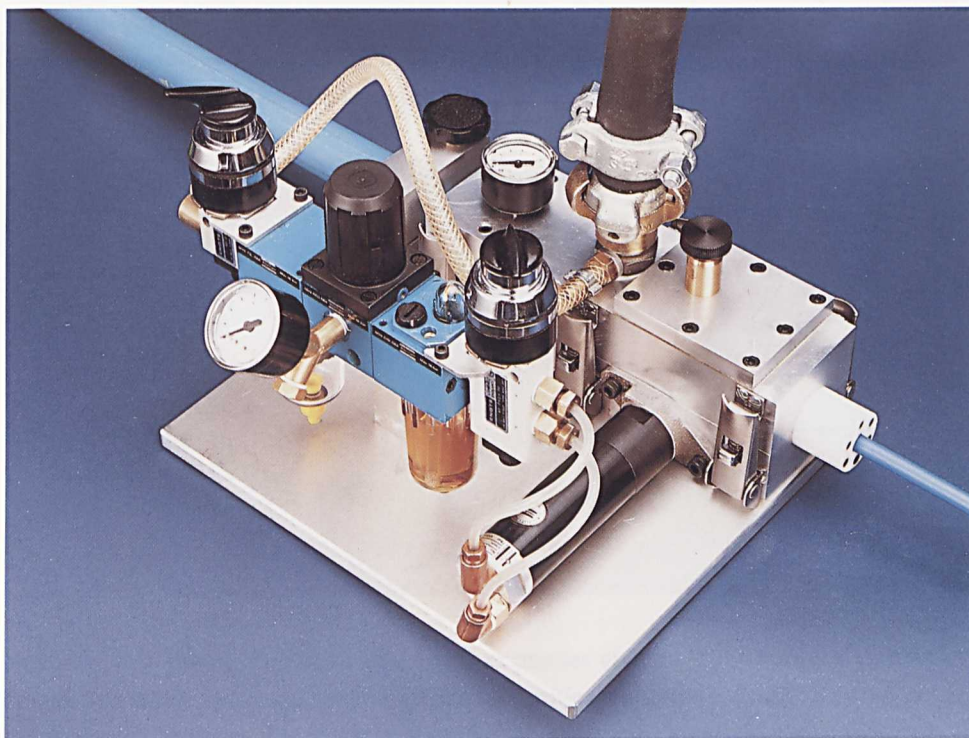
$$R_B = R + \frac{S^2}{4\pi^2 R} \quad (6)$$

In de praktijk wordt een spoedlengte gekozen die een compromis is tussen rekmargin en buigstraal van de vezel (ook de optimalisering van de productie van de kabel speelt een rol bij deze keuze). De huidige internode kabel is zodanig ontworpen ($S=80$ mm, $R=2$ mm en $\Delta R=0.375$ mm zodat $\epsilon_r=0.46\%$ en $R_B=83$ mm) dat er bij de maximale trekkracht waarmee de kabel in de duct wordt getrokken de vezelrek beneden de 0.2% blijft. Door het exponentiele karakter van de opgebouwde kracht in de kabel met de installatielengte, blijft er na het wegnemen van de trekkracht nog maar een fractie van die kracht over, ongeveer in het midden van de kabel. Hierdoor, en door de ruime rekmargin in de kabel, zullen de vezels na installatie van de kabel (trek)spanningsvrij liggen.

Nieuwe ontwikkelingen

Met de nieuwe door PTT Research ontwikkelde installatiemethode, het **inblazen** van de kabels in de buizen, zijn de krachten die op de kabel werken nog eens een orde van grootte kleiner en worden er zeker geen (trek)spanningen op de vezels verwacht. De enige spanning die overblijft wordt veroorzaakt door buigen van de vezel in de kabelconstructie. Bij de internode kabel met z'n buigstraal van 83 mm is deze 'buigrek' maximaal 0.08%. Vergelijkend met de rek bij de prooftest die meestal ongeveer 0.6% bedraagt volgt dan een levensduur (vergelijking 3 en 4) van meer dan 30 jaar.

Foto 5:
Installatie-unit voor inblazen
van kabels in buizen



Korte stukjes op een andere manier gebogen glasvezel, zoals in de lascassette, hoeft geen problemen te geven omdat de kans om daar een zwakke plek aan te treffen gering is. De abonneekabel verdient, vanwege zijn afwijkende constructie, nog wel enige aandacht.

Resumerend voor dit hoofdstuk:

In de internode glasvezelkabel, een duct-kabel met loose tube constructie, worden geen trekspanningen in de vezel verwacht. De rek die in de glasvezel overblijft als gevolg van het buigen van de vezel in de kabelconstructie is maximaal 0.08%. Deze rek is voldoende klein om, uitgaande van een prooftest-rek voor de vezel van 0.6%, een levensduur van 30 jaar te kunnen garanderen voor kabels met metaalscherm.

Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry

- The purpose of this journal is to provide a forum for the publication of original research, clinical reports, and reviews of interest to child and adolescent psychiatrists.
- The journal is required reading for all child and adolescent psychiatrists and is also of interest to other mental health professionals.
- The journal is published quarterly by the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry.
- The journal is published by the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry.
- The journal is published by the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry.



The purpose of this journal is to provide a forum for the publication of original research, clinical reports, and reviews of interest to child and adolescent psychiatrists. The journal is required reading for all child and adolescent psychiatrists and is also of interest to other mental health professionals. The journal is published quarterly by the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry.

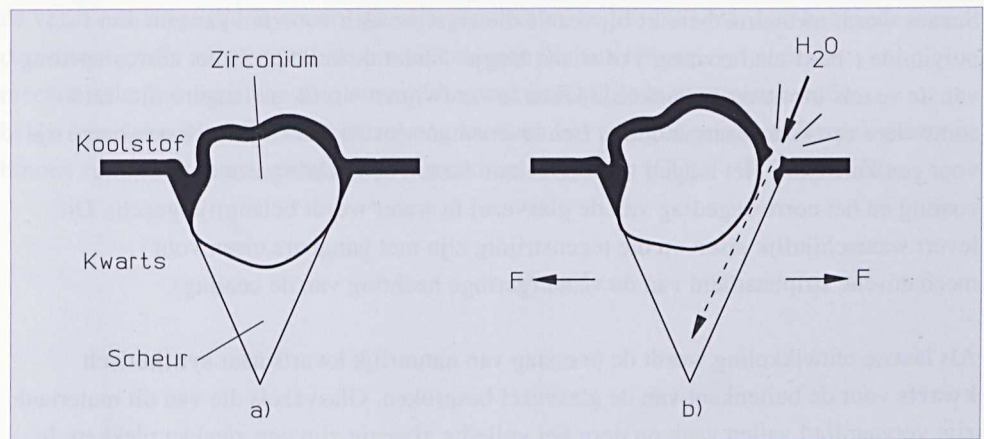
Volume 35, Number 4, December 1996
ISSN 0893-3200
CODEN JACAPD

Nieuwe ontwikkelingen

Een belangrijke ontwikkeling is het voorzien van het kwartsoppervlak van de vezel van een **hermetische coating**, met als doel het tegenhouden van water (en ook waterstof en andere chemicaliën). Het meest succesvol is op dit moment de **koolstofcoating** die dit inderdaad allemaal tegenhoudt (als eindstation voor de ontwikkeling van hermetische coatings wordt het recent gestarte onderzoek naar **diamantcoatings** gezien). De scheurgroei is in dit geval helemaal verdwenen zodat de sterkte van de vezel onafhankelijk wordt van de 'treksnelheid' (zie bijvoorbeeld figuur 13). Een vezel die de installatie heeft overleefd, heeft verder dan ook het 'eeuwige leven'. Het is echter gevaarlijk om blind te vertrouwen op de superieure eigenschappen van een koolstofgecoate vezel zoals die in het laboratorium worden gemeten. Wat gebeurt er bijvoorbeeld bij de zwakke plekken (en hier gaat het om!)?

Figuur 22:

Koolstof gecoate vezel met zwakke plek (met zirkonium-deeltje) met en zonder mechanische spanning



Niemand weet precies hoe een zwakke plek er precies uit ziet. Wel wordt er verwacht dat deeltjes uit de trekoven, meestal zirkoniumdeeltjes, verantwoordelijk zijn voor de verzwakking. In figuur 22a is een voorstelling gemaakt van een zwakke plek met zirkoniumdeeltje met daaroverheen een perfect hechtende koolstoflaag. In figuur 22b is de zelfde zwakke plek te zien, maar nu terwijl er een mechanische spanning op de vezel staat. Door de optredende spanningen zou het koolstoflaagje wel eens kunnen scheuren waardoor er alsnog water naar binnen sijpelt. In dit geval is de hermetische coating dan helemaal niet hermetisch, juist op de plek waar dat belangrijk is! Verder onderzoek op dit gebied wordt aanbevolen, bijvoorbeeld het testen van vezels die, in het productieproces, kunstmatig beschadigd worden voordat de koolstoflaag wordt aangebracht.

Een andere ontwikkeling is het aanbrengen van een **dotering**, meestal titanium, in de buitenste laag van de glasvezel waardoor de buitenkant na het trekken uit de preform (vanwege het verschil in thermische uitzettingscoëfficiënt) een 'ingevroren'

- compressieve spanning krijgt. Hierdoor wordt scheurgroei, hetgeen aan het oppervlak van de vezel plaatsvindt, in veel gevallen tegengegaan. Nog een manier om 'ingevroren' compressieve spanningen in de buitenste laag van de vezel te verkrijgen is het
- aanbrengen van een buitenlaagje glas op de preform met een lagere viscositeit dan de rest van de glasvezel, in combinatie met het trekken uit de preform van de vezel onder hoge spanning. In dit geval kan er pas scheurgroei optreden vanaf het moment dat de
- trekspanning de 'ingevroren' compressieve spanning overtreft. Experimentele resultaten met dit soort vezels komen momenteel nog niet geheel overeen met de theoretische verwachtingen.

Ook aan de **kunststof primaire coating** wordt momenteel veel aandacht besteedt. Er wordt geëxperimenteerd met goed hechtende en slecht water absorberende coatings. Succes wordt met name bereikt bij vezels die eerst worden voorzien van een dun polyimide ('hard-clad coating') of silaan laagje. Nadat de knikken in het corrosiegedrag van de vezels in water aanvankelijk leken te verdwijnen wordt, na langere tijd, toch soms weer een knik waargenomen. Een levensduur van 30 jaar blijft toch een lange tijd voor een kunststof. Het leggen van een relatie tussen de hechting van de primaire coating en het corrosiegedrag van de glasvezel in water wordt belangrijk geacht. Dit levert waarschijnlijk eisen op die tegenstrijdig zijn met gangbare eisen voor mechanische stripbaarheid van de vezel (geringe hechting van de coating).

Als laatste ontwikkeling wordt de overstap van natuurlijk kwarts naar **synthetisch kwarts** voor de buitenkant van de glasvezel besproken. Glasvezels die van dit materiaal zijn vervaardigd vallen vaak op door het volledig afwezig zijn van zwakke plekken. In dit geval nemen de verwachte levensduren sterk toe en kunnen hogere spanningen op de vezels worden toegestaan. Ook verhogen van het prooftestniveau moet, als de vezel inderdaad geen zwakke plekken meer bezit, mogelijk zijn zonder dat de uitval op een onacceptabele manier toeneemt. Verhoging van het prooftestniveau wordt voor deze vezel dan ook voorgesteld, temeer omdat dit de enige manier is om er zeker van te zijn dat er inderdaad geen zwakke plekken meer voorkomen.

Resumerend voor dit hoofdstuk:

Op het gebied van de betrouwbaarheid van glasvezels zijn momenteel diverse ontwikkelingen gaande, zoals hermetische (koolstof) coating, compressieve spanning aan het oppervlak van de glasvezel door dotering (titanium) of gebruik van glassoorten met verschillende viscositeit, verbeterde kunststoffen als primaire coating en glasvezels met een buitenmantel van synthetisch kwarts.

Conclusies

In deze monografie is een zo actueel mogelijk overzicht gegeven van de fysische achtergronden en van enkele meetmethoden betreffende de mechanische betrouwbaarheid van glasvezels. Glasvezels kunnen breken doordat scheurtjes aan het oppervlak groeien onder invloed van omgeving (water) en mechanische spanning. Deze mechanische spanning wordt bij de loose-tube duct-kabel, zoals die in Nederland voor het internode net gebruikt wordt, geheel veroorzaakt door buiging van de glasvezel in de kabelconstructie. Met prooftesten worden de zwakste plekken op de glasvezel geëlimineerd. Deze prooftest vormt bovendien de basis voor levensduurmodellen, waarvan de meest gunstige een mechanische spanning tijdens de dienst toelaat op een derde van het prooftestniveau. Onvolledigheden in de theorie, zoals het niet meenemen van afwijkingen van het lineair elastisch gedrag van glasvezels, zijn besproken. Spanningsonafhankelijke effecten van bijvoorbeeld de primaire coating, die loslaat als de vezel een lange tijd in water ligt, zijn gemeten en bediscussieerd. Aan het einde van deze monografie worden nieuwe ontwikkelingen die van belang zijn voor de mechanische kwaliteit van de glasvezel besproken. Op het in deze monografie besproken vakgebied, dat momenteel nog sterk on beweging is, vindt onderzoek plaats binnen een aantal internationale samenwerkingsverbanden (COST, CCITT, ETSI).

Publications and PTT Research over the century

W. Gifford, C. Segura and J. van Lier

Two-point bending apparatus: distortion optical fibre at different speeds in air
 This measurement is standard and a common experiment
 Programme: John International Wire and Cable Symposium (1990) 10

W. Gifford

The installation of optical fibre cables in vehicles using the vehicle for
 of air

Journal of Lightwave Technology, Vol. 1, no. 3 (1983) 305

W. Gifford

A new installation method for fibre optic cables in vehicles
 Programme: John International Wire and Cable Symposium (1990) 11

W. Gifford

Effect of non-linear effects on optical fibre data and network performance
 Optical fibre

Research Institute for Telecommunications and PTT Research, Geneva, 1, no. 1 (1991) 10

W. Gifford, W. J. J. Segura

Relation between data rate and the optical behaviour of optical fibres and network
 data

Optical fibre technology

Optical fibre technology: an overview of the state of the art
 Optical fibre technology: an overview of the state of the art

W. Gifford and A. J. J. Segura

Optical fibre technology: an overview of the state of the art

Optical fibre technology: an overview of the state of the art

C. E. Segura, J. J. Segura and J. J. Segura

Optical fibre technology: an overview of the state of the art

Optical fibre technology: an overview of the state of the art

Dankbetuiging

Het project 'betrouwbaarheid glasvezelkabels' wordt uitgevoerd in opdracht van PTT Telecom Netwerkbedrijf. Binnen PTT Research zijn de heren Ahn, De Boer, Burgmeijer, De Graaf, Van Loenen en Segers momenteel betrokken bij dit project. De auteur is hen dank verschuldigd.

Dankbetuiging

- Het project 'Nieuw bestel' is mede mogelijk gemaakt door de
• PTT Telecom Nederland, Bureau PTT Research, die de lever-
•ancier, de heer Van Leeuwen, een belangrijke bijdrage heeft ge-
•leverd aan de realisatie van dit project.
• De auteur is hen daarvoor zeer dankbaar.

De auteur

Willem Griffioen is in 1980 afgestudeerd in de wis- en natuurwetenschappen aan de Universiteit van Leiden. Op dezelfde universiteit heeft hij gewerkt van 1980 tot 1984, waar hij macroscopische quantumverschijnselen van vloeibare en vaste $^3\text{He}/^4\text{He}$ -mengsels bij ultralage temperaturen en in hoge magneetvelden heeft onderzocht. Vanaf 1984 is hij werkzaam bij PTT Research. Daar houdt hij zich, bij de themagroep 'Optica en Glasvezel' binnen de hoofdafdeling Natuurwetenschappelijk Onderzoek, bezig met het onderzoek naar en de ontwikkeling van glasvezelkabels, installatietechnieken en betrouwbaarheid van glasvezels.

PTT Research

St. Paulusstraat 4
2264 XZ Leidschendam
Telefoon 070-332 56 02
Telex 31236 rnl nl
Telefax 070-332 64 77

Correspondentieadres:
PTT Research
Postbus 421
2260 AK Leidschendam

Monografie 9002
ISBN 90-72125-25-8

Tekstproductie, fotografie en grafische vormgeving:
PTT Research Algemene Zaken

In this paper, we have presented a new method for the analysis of the data obtained from the experiments on the effect of the temperature on the rate of the reaction. The method is based on the use of the Arrhenius equation, which relates the rate constant of the reaction to the inverse of the absolute temperature. The data obtained from the experiments are plotted against the inverse of the absolute temperature, and the resulting straight line is used to determine the activation energy of the reaction. The activation energy is a measure of the energy barrier that must be overcome for the reaction to occur. The results of the experiments show that the rate of the reaction increases with increasing temperature, and the activation energy is found to be 12.5 kJ/mol.

The results of the experiments are consistent with the theoretical predictions of the Arrhenius equation. The activation energy is a characteristic property of the reaction, and it is independent of the concentration of the reactants. The results of the experiments also show that the rate of the reaction is affected by the presence of a catalyst. The catalyst lowers the activation energy of the reaction, and thus increases the rate of the reaction. The results of the experiments are in good agreement with the theoretical predictions of the Arrhenius equation.

The results of the experiments are also consistent with the theoretical predictions of the transition state theory. The transition state theory predicts that the rate of the reaction is determined by the energy of the transition state, which is the highest energy state along the reaction coordinate. The results of the experiments show that the rate of the reaction increases with increasing temperature, and the activation energy is found to be 12.5 kJ/mol.

The results of the experiments are also consistent with the theoretical predictions of the collision theory. The collision theory predicts that the rate of the reaction is determined by the number of collisions between the reactant molecules that have sufficient energy to overcome the activation energy. The results of the experiments show that the rate of the reaction increases with increasing temperature, and the activation energy is found to be 12.5 kJ/mol.

The results of the experiments are also consistent with the theoretical predictions of the steady-state approximation. The steady-state approximation predicts that the rate of the reaction is determined by the rate of the formation of the transition state. The results of the experiments show that the rate of the reaction increases with increasing temperature, and the activation energy is found to be 12.5 kJ/mol.

The results of the experiments are also consistent with the theoretical predictions of the pre-equilibrium approximation. The pre-equilibrium approximation predicts that the rate of the reaction is determined by the rate of the formation of the transition state. The results of the experiments show that the rate of the reaction increases with increasing temperature, and the activation energy is found to be 12.5 kJ/mol.

The results of the experiments are also consistent with the theoretical predictions of the rate-determining step approximation. The rate-determining step approximation predicts that the rate of the reaction is determined by the rate of the slowest step in the reaction mechanism. The results of the experiments show that the rate of the reaction increases with increasing temperature, and the activation energy is found to be 12.5 kJ/mol.

The results of the experiments are also consistent with the theoretical predictions of the transition state theory. The transition state theory predicts that the rate of the reaction is determined by the energy of the transition state, which is the highest energy state along the reaction coordinate. The results of the experiments show that the rate of the reaction increases with increasing temperature, and the activation energy is found to be 12.5 kJ/mol.

The results of the experiments are also consistent with the theoretical predictions of the collision theory. The collision theory predicts that the rate of the reaction is determined by the number of collisions between the reactant molecules that have sufficient energy to overcome the activation energy. The results of the experiments show that the rate of the reaction increases with increasing temperature, and the activation energy is found to be 12.5 kJ/mol.

The results of the experiments are also consistent with the theoretical predictions of the steady-state approximation. The steady-state approximation predicts that the rate of the reaction is determined by the rate of the formation of the transition state. The results of the experiments show that the rate of the reaction increases with increasing temperature, and the activation energy is found to be 12.5 kJ/mol.

The results of the experiments are also consistent with the theoretical predictions of the pre-equilibrium approximation. The pre-equilibrium approximation predicts that the rate of the reaction is determined by the rate of the formation of the transition state. The results of the experiments show that the rate of the reaction increases with increasing temperature, and the activation energy is found to be 12.5 kJ/mol.

Literatuur

Publikaties van PTT Research over dit onderwerp:

W. Griffioen, G. Segers en E. van Loenen

Two-point bending apparatus, fracturing optical fibres at different speeds in one run; measurements in standard and vacuum environment

Proceedings 39th International Wire and Cable Symposium (1990) 368

W. Griffioen

The installation of conventional fibre optic cables in conduits using the viscous flow of air

Journal of Lightwave Technology, Vol. 7, no. 2 (1989) 297

W. Griffioen

A new installation method for fibre optic cables in conduits

Proceedings 37th International Wire and Cable Symposium (1988) 172

W. Griffioen

Effect of non-linear elasticity on measured fatigue data and lifetime estimations of optical fibres

Research Review (het vaktijdschrift van PTT Research), jaargang 1, nr. 1, (1991) 48

W. Griffioen, W. Ahn en G. Segers

Relation between 'knees' in the fatigue behaviour of optical fibres and stress-free aging

Aangeboden aan Electronics Letters

Algemene studieboeken en overzichtsartikelen op het gebied van optische communicatie waarin dit onderwerp behandeld is:

S.E. Miller en A.G. Chynoweth

Optical fiber telecommunications

Academic press, New York, 1979

C.R. Kurkjian, J.T. Krause en M.J. Matthewson

Strength and fatigue of silica optical fibers

Journal of Lightwave Technology, Vol. 7, no. 9 (1989) 1360