

# Experimentele bepaling van globale en lokale materiaalkarakteristieken van glasvezel-versterkt polypropyleen

**Citation for published version (APA):**

Bosch, van den, H. L. A. (1996). *Experimentele bepaling van globale en lokale materiaalkarakteristieken van glasvezel-versterkt polypropyleen*. (DCT rapporten; Vol. 1996.044). Technische Universiteit Eindhoven.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1996

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

Experimentele bepaling van globale  
en lokale materiaalkarakteristieken  
van glasvezel-versterkt  
polypropyleen.

H.L.A. van den Bosch  
id. nr. 344162  
rapportnr. : 96-044

stageverslag  
april 1996  
begeleider: ir M.G.D. Geers

# Inhoudsopgave

<b>Samenvatting.</b>	<b>4</b>
<b>1 Inleiding.</b>	<b>5</b>
1.1 Probleemstelling. . . . .	5
1.2 Doelstelling. . . . .	5
<b>2 Experimentele bepaling van de elastische materiaalkarakteristieken van SGFPP.</b>	<b>5</b>
2.1 Werkwijze. . . . .	5
2.2 De meetresultaten. . . . .	8
2.2.1 Doorsnede-metingen. . . . .	8
2.2.2 Bepaling van de E-modulus op basis van de geldende ASTM-norm. . .	9
2.2.2.1 Rekstrook-metingen. . . . .	9
2.2.2.2 Verlenging-metingen. . . . .	9
2.2.3 Bepaling van de Poisson-coëfficiënt op basis van de geldende ASTM-norm.	10
2.2.4 Analyse van het macroscopisch isotroopgedrag van de random vezelverdeling. . . . .	11
2.2.5 Controle van de reproduceerbaarheid van de resultaten. . . . .	12
2.2.6 Statistische analyse van de resultaten. . . . .	12
<b>3 Analyse van het lokale deformatiegedrag van SGFPP.</b>	<b>13</b>
3.1 Werkwijze. . . . .	13
3.2 De meetresultaten. . . . .	14
3.2.1 Verificatie van het elastisch gedrag en controle van de locale isotropie.	14
3.2.2 Bepaling van het verband tussen de gemeten lokale rekvelden en de globale krachtverplaatsingskromme in de niet-lineaire fase vóór de breuk.	17
3.2.3 Fenomenologische beschrijving van de process-zone en de lokalisatie van de deformaties vóór de breuk. . . . .	18
<b>4 Conclusies en aanbevelingen.</b>	<b>19</b>
4.1 Conclusies. . . . .	19
4.2 Aanbevelingen. . . . .	20
<b>5 Geraadpleegde literatuur.</b>	<b>21</b>
<b>6 Bijlagen.</b>	<b>22</b>
Bijlage 1: Technical data-sheet van SGFPP. . . . .	22
Bijlage 2: Rekstrookmetingen op proefstaafnrs. 1 t/m 10 (90°-richting). . . . .	23
Bijlage 3: Rekstrookmetingen op proefstaafnrs. 11 t/m 20 (0°-richting). . . . .	25
Bijlage 4: Verlengingsmetingen op proefstaafnrs. 4 t/m 10 (90°-richting). . . . .	27
Bijlage 5: Verlengingsmetingen op proefstaafnrs. 11 t/m 20 (0°-richting). . . . .	28
Bijlage 6: Instellingen van de Hentschel-apparatuur. . . . .	30
Bijlage 7: De rekvelden van proefstaafnrs. 1 t/m 5 (0°-richting). . . . .	31
Bijlage 8: De rekvelden van proefstaafnrs. 6 t/m 10 (90°-richting). . . . .	34
Bijlage 9: Globale krachtverplaatsingskrommen van proefstaafnrs. 1 t/m 5 (0°-richting). . . . .	37

Bijlage 10: Globale krachtverplaatsingskrommen van proefstaafnrs. 6 t/m 10 (90°-  
richting). . . . . 38

## Samenvatting.

Deze stage-opdracht bestaat essentieel in de experimentele bepaling van de materiaalkarakteristieken van Short Glass Fibre reinforced Polypropylene (SGFPP). De technical data-sheet geeft onvoldoende informatie over de **lokale** materiaal karakteristieken en hun relatie met de globale materiaalkarakteristieken.

Om de globale materiaalkarakteristieken te beproeven, werden de elasticiteitsmodulus en de Poisson-coëfficiënt op basis van de geldende ASTM-norm bepaald. Om het lokale deformatiegedrag te bepalen, werd gebruik gemaakt van de Hentschel-apparatuur. Hierbij werden metingen uitgevoerd, zowel in het elastische, als in het niet-lineaire schade-gebied tot en met de breuk. Tevens is er aandacht besteed aan de globale krachtverplaatsingskromme in de niet-lineaire fase vóór de breuk en aan relatie met de gemeten lokale rekvelen.

Het blijkt dat SGFPP niet in die mate isotroop is zoals vooropgesteld in de technical data-sheet. Dat geldt zowel globaal als lokaal. De isotropiefactor is ongeveer 1,5. De E-modulus in bewerkingsrichting van het plaatmateriaal is 4499 MPa en de Poissoncoëfficiënt in deze richting is 0,28. Voor de richting loodrecht op de bewerkingsrichting zijn deze waarden 6695 MPa, resp. 0,37. De lokale rekvariatiën, die met de Hentschel-apparatuur gemeten zijn, zijn in het elastische gebied kwalitatief gelijk aan die in het niet-lineaire schade-gebied. Lokaal vertoont SGFPP een quasi-isotroop materiaalgedrag. Bij sommige destructieve trekproeven is het zelfs mogelijk geweest om de lokatie van de breuk vooraf te voorspellen m.b.v. de Hentschel-apparatuur.

## 1 Inleiding.

Voor de bepaling van de elastische materiaalkarakteristieken van SGFPP, werden trekproeven uitgevoerd op verschillende proefstaven. Er werd onderzoek gedaan naar het macroscopisch isotroop gedrag van de random vezelverdeling. De metingen werden uitgevoerd in twee richtingen, nl. in de bewerkingsrichting van het materiaal en in de richting loodrecht daarop.

Bij de lokale metingen werd gebruik gemaakt van de Hentschel-apparatuur. Dit is een optische meetmethode, waarbij het 2D-verplaatsingsveld wordt gemeten d.m.v. het volgen van ca. 120 markers die aangebracht zijn op de proefstaven. Aan de hand van deze verplaatsingsvelden worden de rekvelden bepaald. Met deze gegevens kan het elastisch gedrag worden geverifieerd en de lokale isotropie worden gecontroleerd.

### 1.1 Probleemstelling.

Numerieke simulaties in de schademechanica vereisen een goede kennis van het lokale deformatiegedrag en van alle basis-eigenschappen van SGFPP. De technical data-sheet, opgenomen in bijlage 1, is hiervoor ontoereikend. Op basis van de random vezelverdeling van de glasvezels wordt het materiaal aangeboden als zijnde quasi-isotroop. Om de globale elastische materiaalkarakteristieken te beproeven en de quasi-isotropie van SGFPP te onderzoeken werden genormaliseerde trekproeven uitgevoerd. Hierbij werden de rekken met behulp van rekstrookjes gemeten. Onderhavige studie moet uitwijzen of de technical data-sheet de juiste gegevens bevat en in welke mate de quasi-isotropie gerechtvaardigd is. Tevens wordt uit de rekstrookmetingen de Poisson-coëfficiënt van SGFPP bepaald.

### 1.2 Doelstelling.

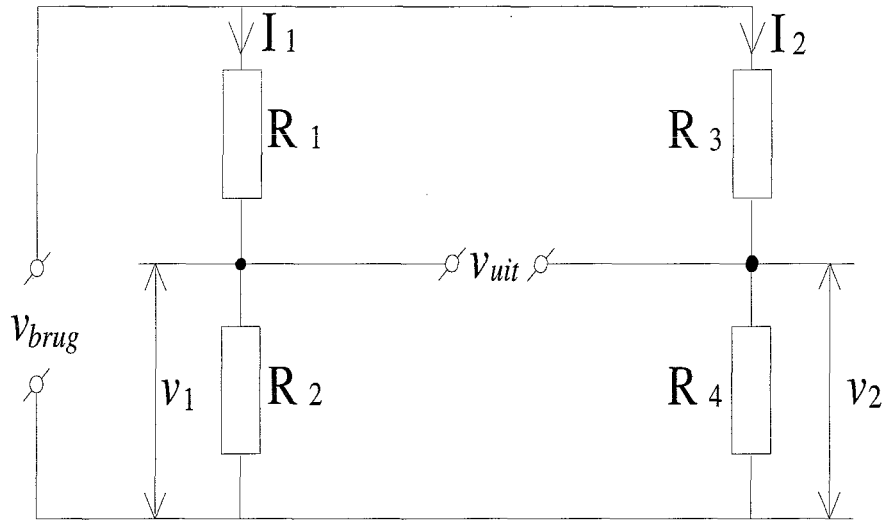
Door de glasvezelverdeling in de materiaalmatrix treden lokale effecten op. Door metingen met de Hentschel-apparatuur te doen, wordt onderzocht hoe groot de invloed van die lokale effecten is. Tevens kan uit deze metingen de treksterkte worden geverifieerd. Uit de technical data sheet in bijlage 1 kan men ook niet afleiden hoe het materiaal zich gedraagt tijdens de deformatie, insnoering en breuk. Door de Hentschel-proeven te doen, wordt getracht ook hier enig inzicht in te verkrijgen.

## 2 Experimentele bepaling van de elastische materiaalkarakteristieken van SGFPP.

### 2.1 Werkwijze.

Allereerst dienden er proefstaven te worden vervaardigd die voldoen aan de ASTM-norm. Om de proefstaven op een reproduceerbare manier te vervaardigen, werd gebruik gemaakt van een mal. De gebruikte norm is de ASTM-norm D638 [1].

Voor de rekmetingen werd gebruik gemaakt van rekstrookjes. Om de invloed van eventuele buiging en temperatuur tot een minimum te beperken, is de brugmethode toegepast. Om een zo groot mogelijke nauwkeurigheid te verkrijgen, is een 'halve brug'-schakeling gebruikt. D.w.z. een brug van Wheatstone, met daarin twee actieve rekstrookjes. In figuur 1 staat de elektrische schakeling in zijn geheel afgebeeld.



Figuur 1: Schema van een Wheatstone brugschakeling.

Voor de spanning  $v_{uit}$  geldt:

$$v_{uit} = v_1 - v_2 = \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) * v_{brug} \quad (1)$$

De schakeling is gecompenseerd voor buiging en temperatuursvariatie, indien de rekstrookjes op de volgende wijze in de schakeling worden opgenomen (zie [2]):

$$R_1 = T_{1L} \quad R_2 = L_1 \quad R_3 = L_2 \quad R_4 = T_{2L}$$

Hierin zijn  $L_1$  en  $L_2$  de rekstrookjes die de rek in de te meten richting meten. Deze moeten voor compensatie voor buiging aan beide zijden van de proefstaaf worden gekleefd. Dit zijn de actieve rekstrookjes.  $T_{1L}$  en  $T_{2L}$  zijn de rekstrookjes bedoeld voor de temperatuurscompensatie. Deze dienen op een onbelaste dummy-proefstaaf gekleefd te worden. Om een goede temperatuurscompensatie te verkrijgen dient de dummy-proefstaaf, tijdens de trekproef, in de buurt van de belaste proefstaaf te worden bevestigd.

Wanneer de schakeling op de juiste wijze is gecompenseerd, kan de uitgangsspanning  $v_{uit}$ , bij een weerstandsvariatie van  $\Delta R$  van de actieve rekstrookjes ( $R_2$  en  $R_3$ ) berekend worden. M.b.v. formule (1) geeft dit:

$$v_{uit} = v_1 - v_2 = \left( \frac{R + \Delta R}{R + R + \Delta R} - \frac{R}{R + \Delta R + R} \right) * v_{brug} = \frac{\Delta R}{2R + \Delta R} * v_{brug} \quad (2)$$

Aangezien  $\Delta R$  heel erg klein is t.o.v.  $2R$  mag deze term worden verwaarloosd. Er geldt dan dat:

$$v_{uit} \approx \frac{\Delta R}{2R} * v_{brug} \quad (3)$$

Voor de rekstrookjes geldt:  $\frac{\Delta R}{R} = k * \frac{\Delta L}{L}$ , waarmee de rek aan een uitgangsspanning is gekoppeld.

Aangezien de weerstandsverandering zeer gering is moet het geheel nog aan een meetversterker gekoppeld worden. De gebruikte meetversterker is er één uit de CA100 Serie van Peekel Instruments BV (zie [3]). De brugspanning is hierop ingesteld op 2 Volt, omdat bij een hogere brugspanning, als gevolg van temperatuurseffecten in de rekstrookjes, de uitgangsspanning gaat driften. De meetversterker gaat uit van een volle Wheatstone brugschakeling met één actief rekstrookje. Er geldt dus:

$$v_{uit} = \frac{\Delta R}{4R} * v_{brug} \quad (4)$$

Bij 1000  $\mu$ rek hoort een uitgangsspanning die gecalibreerd is op 4 Volt. Hiermee en m.b.v. formule (4) kan nu de versterkingsfactor A als volgt worden bepaald:

$$A = \frac{v_{uit}}{\frac{\Delta R}{4R} * v_{brug}} = \frac{4 * v_{uit}}{k_a * \varepsilon * v_{brug}} \quad (5)$$

Waarbij  $k_a$  de k-factor is, die door de fabrikant van de meetversterker is ingesteld en een vaste waarde heeft van 2. Dit levert:

$$A = \frac{4 * 4}{2 * 1000 * 10^{-6} * 2} = 4000 \quad (6)$$

Aangezien rekstrookjes slechts zelden een k-factor van 2,00 hebben, dient de volgende correctie te worden uitgevoerd, om de werkelijke rek  $\varepsilon_r$  te verkrijgen:

$$\varepsilon_r = \frac{k_a}{k_r} * \varepsilon_a = \frac{2,00}{k_r} * \varepsilon_a \quad (7)$$

Waarbij  $k_r$  de werkelijke k-factor is.

In werkelijkheid werd niet met één actief rekstrookje gemeten, maar met twee actieve rekstrookjes, nl. R<sub>2</sub> en R<sub>3</sub>. De uitgangsspanning wordt daardoor een factor twee groter dan hetgeen gemeten moet worden. De aanwijzing moet dus nog door twee gedeeld worden. Dit geeft:

$$\varepsilon_r = \frac{2,00}{k_r} * \frac{\varepsilon_a}{2} = \frac{\varepsilon_a}{k_r} \quad (8)$$

Voor  $\varepsilon_a$  geldt: 1000  $\mu \equiv 4V$ . Voor  $\varepsilon_r$  geldt dus: 1000  $\mu / k_r \equiv 4V$ . Indien er gemeten wordt tot een rek van  $\pm 1\%$ , dan zal de uitgangsspanning ongeveer 40 Volt worden, hetgeen een overbelasting zal betekenen van de data-aquisitie kaart. Om een overbelasting te voorkomen, wordt de versterkingsfactor een factor tien kleiner gekozen. De nauwkeurigheid daalt daardoor ook met een factor 10. Voor  $\varepsilon_r$  geldt nu: 10000  $\mu / k_r \equiv 4V$ .  $\Leftrightarrow$

$$1V \equiv \frac{2500}{k_r} * \mu$$

Hiermee is de schaalfactor gevonden, waarmee de uitgangsspanning van de meetversterker direct gekoppeld is aan de rek, optredend ter plaatse van het rekstrookje.

De metingen werden uitgevoerd op een trekbank met een kopverplaatsingssnelheid van 5 mm/min, tot een belasting van 1 kN. Door een goede klimaatbeheersing zijn de atmosferische omstandigheden constant.

Omdat de rekstrook-metingen misschien een te lokaal resultaat geven werden ter controle ook nog metingen uitgevoerd met een LVDT met een meetbasis van 50 mm. Deze proeven werden uitgevoerd bij eenzelfde kopverplaatsingssnelheid en maximale kracht.



## 2.2 De meetresultaten.

### 2.2.1 Doorsnede-metingen.

Om later uit de krachten de spanningen te berekenen, werden eerst de doorsnedes van de proefstaven opgemeten. Volgens de ASTM-norm diende dit te gebeuren op verschillende plaatsen (boven, midden en onder), waarna de kleinste doorsnede wordt gebruikt voor het bepalen van de spanning. Aangezien er met de rekstrookjes in het midden van de proefstaven (lokaal) gemeten wordt, hoort bij deze metingen de doorsnede in het midden van de proefstaaf.

In tabel 1 staan de metingen van de doorsnedes weergegeven voor de proefstaven waarvan de lengte-as loodrecht staat op de beweringsrichting van het plaatmateriaal. Deze richting wordt voortaan de 90°-richting genoemd. Dezelfde metingen werden uitgevoerd op de proef-

Nr.	$A_{boven}$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_{midden}$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_{onder}$ [mm <sup>2</sup> ]
1	53,00	52,90	53,64
2	52,54	52,36	53,21
3	51,70	51,94	54,13
4	52,81	52,81	53,56
5	53,46	53,42	54,22
6	51,72	51,78	52,83
7	53,60	53,69	54,90
8	53,99	53,99	54,53
9	54,61	54,72	54,99
10	52,88	52,94	53,68

Tabel 1: Doorsnedes van de proefstaven in 90°-richting.

staven waarvan de lengte-as evenwijdig is aan de beweringsrichting van het plaatmateriaal. Deze richting wordt voortaan de 0°-richting genoemd. De resultaten van deze metingen staan weergegeven in tabel 2.

Nr.	$A_{boven}$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_{midden}$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_{onder}$ [mm <sup>2</sup> ]
11	49,52	49,95	50,81
12	50,81	51,34	51,95
13	49,97	50,17	51,45
14	50,99	51,17	51,90
15	49,55	49,98	51,94
16	47,67	47,66	48,40
17	46,24	46,62	47,36
18	49,48	49,64	51,10
19	48,01	48,05	48,89
20	48,21	48,14	49,28

Tabel 2: Doorsnedes van de proefstaven in 0°-richting.

## 2.2.2 Bepaling van de E-modulus op basis van de geldende ASTM-norm.

### 2.2.2.1 Rekstrook-metingen.

Nadat alle noodzakelijke voorbereidingen waren getroffen, werden de metingen uitgevoerd. Per proefstaaf werden een tiental trekproeven uitgevoerd, waarbij telkens de belasting werd opgevoerd tot ongeveer 1 kN. Bij deze belasting wordt de elasticiteitsgrens nog niet bereikt. De resultaten van de metingen voor de proefstaven in 90°-richting staan grafisch weergegeven in bijlage 2. Voor de proefstaven in 0°-richting staan de resultaten grafisch weergegeven in bijlage 3. In deze figuren zijn ook de dwarsrekken weergegeven. Deze zijn van belang voor de bepaling van de Poisson-coëfficiënt. Hier wordt in paragraaf 2.2.4. verder op ingegaan. Aan de hand van de trekproeven is de E-modulus bepaald, door een eerstegraads polynoom te fitten door de spanning-rek-kromme (10x per proefstaaf), m.b.v. de kleinste kwadraten methode. Het deel rond de oorsprong is, gelet op de afwijkingen die daar mogelijk optreden, buiten beschouwing gelaten. Volgens de ASTM-norm dienen de metingen te worden uitgevoerd in de lineaire fase van de trekkromme. Het gebied waarin de metingen werden uitgevoerd is redelijk lineair. De E-modulus is gelijk aan de helling van de polynoom. Er werden zo 10 E-moduli per proefstaaf bepaald, welke zijn opgenomen in tabellen 3 en 4. De gemiddelde E-

proefstaafnr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
proef 1	4627	4233	4399	4571	4579	4650	4549	4521	4680	4298
proef 2	4626	4231	4394	4560	4586	4650	4544	4517	4670	4294
proef 3	4624	4227	4391	4562	4573	4632	4546	4511	4674	4281
proef 4	4625	4225	4390	4555	4576	4636	4541	4506	4669	4277
proef 5	4625	4227	4388	4549	4553	4636	4537	4495	4669	4283
proef 6	4623	4227	4387	4542	4568	4636	4537	4498	4663	4290
proef 7	4620	4229	4387	4539	4560	4624	4536	4496	4668	4285
proef 8	4620	4222	4384	4536	4561	4623	4527	4497	4670	4284
proef 9	4622	4223	4385	4531	4564	4625	4533	4494	4657	4291
proef 10	4620	4226	4383	4534	4558	4618	4530	4493	4656	4287

Tabel 3: E-moduli (MPa) voor de proefstaven in 90°-richting.

modulus van SGFPP in 90°-richting bedraagt volgens deze proeven 4499 MPa. De gemiddelde E-modulus van SGFPP in 0°-richting bedraagt volgens deze proeven 6695 MPa.

Voor proefstaaf nr. 16 zijn drie metingen verloren gegaan. Aangezien er voldoende andere metingen aanwezig zijn, is dit geen probleem voor een verdere statistische analyse (zie paragraaf 2.2.6.).

### 2.2.2.2 Verlenging-metingen.

Ter controle van de rekstrook-metingen werden op de proefstaven 4 t/m 20 LVDT-rekmetingen uitgevoerd. Hierbij werd de verlenging gemeten over een meetbasis van 50 mm. Om de spanning te berekenen, moet, volgens de ASTM-norm, de gemeten kracht gedeeld worden door de kleinste doorsnede van elke proefstaaf. Er werden wederom tien metingen op elke proefstaaf uitgevoerd, waarbij telkens de belasting werd opgevoerd tot 1 kN. De resultaten van de

proefstaafnr.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
proef 1	7094	7596	7201	7667	6389	6333	5740	6479	6220	6301
proef 2	7097	7584	7185	7666	6392	6338	5734	6486	6237	6299
proef 3	7100	7591	7187	7667	6390	6322	5733	6480	6226	6297
proef 4	7090	7583	7183	7666	6377	6317	5736	6489	6227	6301
proef 5	7088	7582	7183	7665	6378	6308	5729	6477	6226	6290
proef 6	7082	7569	7183	7660	6389	6308	5746	6479	6206	6296
proef 7	7089	7575	7183	7658	6394	6309	5732	6483	6200	6291
proef 8	7105	7566	7182	7651	6394		5715	6476	6197	6294
proef 9	7113	7568	7175	7659	6368		5738	6476	6203	6293
proef 10	7120	7561	7175	7650	6380		5724	6470	6211	6290

Tabel 4: E-moduli (MPa) voor de proefstaven in 0°-richting.

metingen voor de proefstaven in 90°-richting staan grafisch weergegeven in bijlage 4. Voor de proefstaven in 0°-richting staan de resultaten grafisch weergegeven in bijlage 5. Uit deze metingen werden opnieuw de E-moduli bepaald, waarmee opnieuw een statistische analyse kan worden uitgevoerd (zie paragraaf 2.2.6.). De berekende E-moduli staan in tabellen 5 en 6. De gemiddelde E-modulus van SGFPP in 90°-richting bedraagt volgens deze proeven

proefstaafnr.	4	5	6	7	8	9	10
proef 1	4593	4339	4406	4083	4430	4529	4177
proef 2	4510	4361	4385	4096	4422	4555	4178
proef 3	4514	4369	4387	4099	4427	4578	4173
proef 4	4515	4391	4377	4112	4415	4563	4173
proef 5	4529	4394	4374	4096	4427	4555	4176
proef 6	4537	4397	4364	4093	4423	4560	4168
proef 7	4534	4403	4376	4089	4428	4558	4174
proef 8	4548	4416	4369	4087	4425	4566	4165
proef 9	4544	4411	4362	4100	4437	4576	4179
proef 10	4548	4429	4370	4099	4444	4576	4151

Tabel 5: E-moduli (MPa) voor de proefstaven in 90°-richting.

4366. De gemiddelde E-modulus van SGFPP in 0°-richting bedraagt volgens deze proeven 6500 MPa.

### 2.2.3 Bepaling van de Poisson-coëfficiënt op basis van de geldende ASTM-norm.

Uit de rekstrook-metingen kan ook de Poisson-coëfficiënt van SGFPP bepaald worden. Deze is gedefinieerd als:

$$\nu = -\frac{(\partial\varepsilon_d/\partial F)}{(\partial\varepsilon_l/\partial F)} \quad (9)$$

proefstaafnr.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
proef 1	7127	7307	6673	7178	6209	6114	5626	6314	6004	6333
proef 2	7180	7308	6685	7157	6211	6134	5614	6308	5961	6325
proef 3	7196	7314	6694	7172	6260	6146	5622	6327	5937	6308
proef 4	7203	7313	6698	7179	6249	6145	5604	6310	5929	6325
proef 5	7216	7342	6701	7161	6238	6172	5637	6317	5923	6313
proef 6	7204	7344	6686	7145	6259	6179	5640	6320	5935	6309
proef 7	7184	7332	6693	7150	6261	6186	5631	6305	5920	6290
proef 8	7181	7432	6702	7176	6291	6169	5630	6316	5921	6303
proef 9	7199	7342	6692	7173	6251	6187	5609	6334	5944	6315
proef 10	7234	7350	6696	7171	6257	6212	5612	6331	5953	6325

Tabel 6: E-moduli (MPa) voor de proefstaven in 0°-richting.

Uit de metingen kan deze bepaald worden door een eerstegraads-polynoom te fitten door de  $\varepsilon_l$ - $\varepsilon_d$ -kromme. In feite wordt dus  $\partial\varepsilon_d/\partial\varepsilon_l$  berekend, maar dit is gelijk aan de definitie van  $\nu$ , omdat de rekken bij dezelfde krachten simultaan werden gemeten. De richtingscoëfficiënt van de polynoom is dan gelijk aan  $-\nu$ . In tabellen 7 en 8 worden de Poisson-coëfficiënten weergegeven. De gemiddelde Poisson-coëfficiënt van SGFPP in 90°-richting bedraagt 0,2809.

proefst.nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
proef 1	0,290	0,275	0,274	0,294	0,285	0,289	0,282	0,282	0,284	0,269
proef 2	0,290	0,275	0,274	0,293	0,285	0,287	0,281	0,281	0,285	0,260
proef 3	0,290	0,275	0,273	0,293	0,285	0,288	0,281	0,281	0,283	0,261
proef 4	0,289	0,275	0,273	0,293	0,285	0,288	0,282	0,281	0,284	0,258
proef 5	0,290	0,274	0,274	0,293	0,284	0,288	0,281	0,281	0,284	0,260
proef 6	0,290	0,275	0,273	0,293	0,285	0,288	0,281	0,282	0,283	0,260
proef 7	0,289	0,275	0,273	0,292	0,284	0,288	0,281	0,282	0,283	0,260
proef 8	0,290	0,275	0,273	0,292	0,285	0,287	0,281	0,282	0,284	0,259
proef 9	0,289	0,274	0,273	0,293	0,285	0,287	0,281	0,281	0,283	0,260
proef 10	0,289	0,275	0,273	0,293	0,284	0,287	0,282	0,282	0,283	0,258

Tabel 7: Poisson-coëfficiënten voor de proefstaven in 90°-richting.

De gemiddelde Poisson-coëfficiënt van SGFPP in 0°-richting bedraagt 0,3728. Zie paragraaf 2.2.6. voor een statistische analyse van deze resultaten.

#### 2.2.4 Analyse van het macroscopisch isotroopgedrag van de random vezelverdeling.

Isotroop gedrag wil zeggen dat de stijfheid van het materiaal in alle richtingen gelijk is. De glasvezels zijn in principe random verdeeld in de matrix. Dat wil zeggen dat de vezels niet alleen gelijkmatig verdeeld zijn over het basismateriaal, maar ook dat de vezels geen voorkeursrichting hebben. In dat geval zou de stijfheid van SGFPP in alle richtingen gelijk

proefst.nr.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
proef 1	0,391	0,419	0,381	0,404	0,350	0,363	0,336	0,370	0,334	0,381
proef 2	0,392	0,418	0,379	0,404	0,349	0,364	0,336	0,370	0,335	0,381
proef 3	0,391	0,418	0,380	0,404	0,349	0,362	0,336	0,371	0,334	0,381
proef 4	0,392	0,418	0,381	0,404	0,350	0,362	0,336	0,370	0,335	0,381
proef 5	0,391	0,418	0,379	0,404	0,349	0,363	0,336	0,371	0,334	0,381
proef 6	0,391	0,418	0,380	0,404	0,350	0,362	0,336	0,371	0,334	0,380
proef 7	0,391	0,418	0,380	0,404	0,349	0,363	0,337	0,371	0,334	0,380
proef 8	0,390	0,418	0,381	0,405	0,350		0,336	0,370	0,334	0,381
proef 9	0,391	0,418	0,381	0,404	0,350		0,337	0,370	0,334	0,381
proef 10	0,391	0,419	0,380	0,403	0,350		0,336	0,370	0,334	0,381

Tabel 8: Poisson-coëfficiënten voor de proefstaven in 0°-richting.

zijn. We spreken dan van macroscopisch isotroop materiaalgedrag.

Uit de rekstrook-metingen valt op dat de proefstaven in 0°-richting een aanzienlijk grotere E-modulus hebben dan die in 90°-richting. Het materiaal is dus duidelijk niet isotroop. De isotropiefactor wordt in lit. [4] gedefinieerd als het quotiënt van de dwarsrek en de dikterek, bij een belasting in langsrichting. Aangezien de dikterek niet met rekstrookjes te meten is, kan de isotropiefactor zo niet bepaald worden. De anisotropie wordt veroorzaakt door verschil in stijfheden in verschillende richtingen. Om toch een indicatie te geven van de anisotropie van SGFPP wordt vanaf nu de isotropiefactor gedefinieerd als het quotiënt van de E-modulus in 0°-richting en de E-modulus in 90°-richting. Uit de rekstrook-metingen volgt een isotropiefactor van  $\frac{6695}{4499} = 1,49$ . De E-modulus in 0°-richting is dus 1,49 keer zo groot als de E-modulus in 90°-richting.

### 2.2.5 Controle van de reproduceerbaarheid van de resultaten.

De grafische voorstellingen m.b.t. de verschillende meetresultaten (bijlage 2), illustreren dat de tien metingen per proefstaaf weinig onderlinge verschillen vertonen. Er is hooguit een nulpuntsverschuiving waar te nemen, als gevolg van het slippen van de proefstaven in de klemmen van de trekbank. Deze nulpuntsverschuiving is echter van geen invloed op de berekende grootheden. In de tabellen komen de kleine onderlinge verschillen tot uiting in de spreiding van de waarden in elke kolom. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de resultaten goed reproduceerbaar zijn.

### 2.2.6 Statistische analyse van de resultaten.

Door de reproduceerbaarheid te controleren kon worden aangetoond dat de metingen betrouwbaar zijn. Door nu een statistische analyse door te voeren wordt de nauwkeurigheid van de meetresultaten bepaald. Voor de achtergrond en de formules hiervan wordt verwezen naar lit. [5]. De resultaten van de statistische analyse staan weergegeven in tabel 9.

Bij een normale verdeling heeft 99 % van de waarnemingen een afwijking van minder dan drie keer de standaardafwijking (s). De E-moduli en Poisson-coëfficiënten van de proefstaven zijn dus met een onnauwkeurigheid van minder dan één procent bepaald. De proefstaven in 90°-richting (proefstaafnr. 1 t/m 10) hebben een E-modulus van  $4499 \pm 299$  MPa, en een

nr.	$E_{gem}$ MPa	$s_E$	$\nu_{gem}$	$s_\nu$
1	4624	2,61	0,2815	$0,399*10^{-3}$
2	4227	3,38	0,2746	$0,242*10^{-3}$
3	4389	4,99	0,2734	$0,330*10^{-3}$
4	4549	13,59	0,2929	$0,470*10^{-3}$
5	4568	10,60	0,2846	$0,463*10^{-3}$
6	4634	10,91	0,2877	$0,412*10^{-3}$
7	4539	6,88	0,2814	$0,354*10^{-3}$
8	4503	10,22	0,2815	$0,421*10^{-3}$
9	4668	7,27	0,2836	$0,590*10^{-3}$
10	4288	6,22	0,2598	$0,881*10^{-3}$
11	7098	11,83	0,3912	$0,365*10^{-3}$
12	7578	11,57	0,4182	$0,551*10^{-3}$
13	7184	7,12	0,3803	$0,558*10^{-3}$
14	7661	6,51	0,4040	$0,437*10^{-3}$
15	6386	8,88	0,3496	$0,501*10^{-3}$
16	6321	12,74	0,3630	$0,858*10^{-3}$
17	5733	8,65	0,3362	$0,401*10^{-3}$
18	6480	5,51	0,3706	$0,401*10^{-3}$
19	6216	13,76	0,3340	$0,421*10^{-3}$
20	6296	4,14	0,3806	$0,144*10^{-3}$

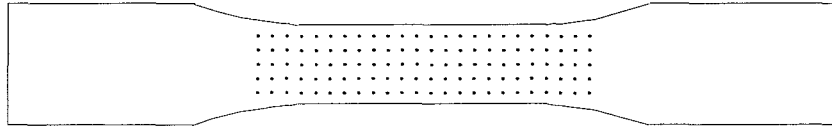
Tabel 9: Statistische analyse van de meetresultaten.

Poisson-coëfficiënt van  $0,2809 \pm 19,2*10^{-3}$ . Voor de proefstaven in  $0^\circ$ -richting (proefstaafnr. 11 t/m 20) worden een E-modulus van  $6695 \pm 1284$  MPa en een Poisson-coëfficiënt van  $0,3728 \pm 55,6*10^{-3}$  gevonden. De spreiding tussen de proefstaven is aanzienlijk groter dan de spreiding binnen de proefstaven. Dit wijst er op dat deze materiaalkarakteristieken goed te meten zijn, maar dat deze minder goed te schatten zijn. Indien de steekproefgrootte vergroot wordt en de standaardafwijkingen nagenoeg gelijk blijven, dan wil dat zeggen dat de nauwkeurigheid van de schatting van de materiaalparameters niet meer te verbeteren is. Dit is het geval bij een voldoende steekproefgrootte. Als aangenomen wordt dat er hier sprake is van een voldoende steekproefgrootte, dan kan geconcludeerd worden dat de materiaalparameters niet nauwkeuriger bepaald kunnen worden en dat de spreiding dus in het materiaal zit en niet in de meetfout.

### 3 Analyse van het lokale deformatiegedrag van SGFPP.

#### 3.1 Werkwijze.

Voor dit deel van het experimenteel onderzoek werd gebruik gemaakt van de Hentschel-apparatuur (zie lit. [6]). Hiermee kan optisch het 2D-verplaatsingsveld van een proefstaaf gemeten worden. Dit gebeurt aan de hand van reflecterende markers die op een donkere en matte proefstaaf zijn aangebracht zoals getoond in figuur 2. In bijlage 6 staan de parameters weergegeven, zoals die werden ingesteld op de Hentschel-apparatuur.



Figuur 2: Markerverdeling over een proefstaaf.

Om de juiste verplaatsingen te krijgen, dient de camera perfect uitgelijnd te zijn ten opzichte van de proefstaaf, om vervormingen ten gevolge van optisch perspectief te vermijden. De proefstaven waarmee de proeven werden uitgevoerd waren niet voldoende mat. D.w.z. ze reflecteerden het licht om de markers mee te doen oplichten te sterk. Het gevolg hiervan was dat de helderheid van de markers te zwak was ten opzichte van de achtergrond en dat de meeste markers daardoor niet werden gevonden tijdens de search-scan. De markers hebben de eigenschap dat ze het licht reflecteren in de richting van het invallende licht. Door de camera en de lichtbron schuin voor de proefstaaf te positioneren, wordt het licht van de achtergrondreflectie in een andere richting weerkaatst, dan het licht van de reflecterende markers. Het probleem van de achtergrondreflecties is daardoor verdwenen. Het probleem van het optisch perspectief is nu echter zeer nadrukkelijk aanwezig. Aangezien het beeld dat de camera opvangt een lineaire transformatie is van het beeld, dat zou ontstaan bij een perfect uitgelijnde opstelling, kan die transformatie hierop worden uitgevoerd, zodanig dat het werkelijke beeld ontstaat. Voor deze transformatie dienen vooraf de coördinaten van minimaal vier markers te worden opgemeten. De positie van deze punten in werkelijkheid is nu bekend, evenals die zoals die, met optisch perspectief, bepaald werden door de computer. Voor de computerdata werd een statische meting uitgevoerd. D.w.z. dat een meting werd uitgevoerd zonder de belasting op te laten lopen. De positie van de markers werd zo enkele tientallen malen bepaald. Uit de statische meting werden daarna de gemiddelde posities van de markers worden berekend. De nauwkeurigheid van de posities werd door deze middeling vergroot.

Vervolgens werd de transformatie matrix bepaald, die de transformatie beschrijft van de punten die de computer heeft bepaald naar de coördinaten van die punten in werkelijkheid. Door deze transformatie los te laten op alle andere door de computer gevonden punten, werden ook van deze punten de coördinaten in werkelijkheid bepaald.

## 3.2 De meetresultaten.

### 3.2.1 Verificatie van het elastisch gedrag en controle van de locale isotropie.

Van 10 proefstaven (5 in  $0^\circ$ -richting en 5 in  $90^\circ$ -richting) werden met behulp van de Hentschel-apparatuur de 2D-verplaatsingsvelden gemeten. Uit deze verplaatsingsvelden werden de 2D-rekvelen berekend. De theorie achter deze berekening wordt behandeld in lit. [7]. De meetresultaten kunnen worden verbeterd door de data te filteren. Opties zijn een tijdsfilter en een SVD-filter, waarbij gebruik wordt gemaakt van de Singular Value Decomposition. De beste resultaten werden verkregen met alleen het SVD-filter. Het tijdsfilter deed afbreuk aan

de meetresultaten, door de hoogfrequente component in het meetsignaal te wijten aan de breuk. Een uitgebreide verklaring van de werking van het SVD-filter is te vinden in lit. [8] en [9].

De berekende rekken op de randen geven grote afwijkingen t.o.v. de berekende rekken in het midden van de proefstaven. Dit komt doordat de rekken op een markerpositie in het midden van de proefstaaf berekend worden aan de hand van de verplaatsing van deze marker t.o.v. zijn omliggende markers. Aangezien de markers op de randen aan één zijde geen buurmarkers hebben, wordt hierdoor de nauwkeurigheid kleiner. De rekken op de markerposities aan de randen worden bij een verdere analyse buiten beschouwing gelaten. Voor de proefstaven in 0°-richting staan voor elke proefstaaf drie rekvelden weergegeven in bijlage 7. De drie rekvelden zijn weergegeven op equidistante rekstappen, waarbij de laatste stap de laatste meting is vóór de breuk. Voor de proefstaven in 90°-richting staan de rekvelden weergegeven in bijlage 8.

Uit de grafische voorstellingen blijkt dat er lokaal kleine rekvariaties optreden. De rekvelden bij hogere belastingen geven een gelijksoortig beeld. Het enige verschil is de grootte van de deformaties. De lokatie van de rekconcentraties verandert niet bij een verandering van de belasting. De lokale rekvariaties zijn niet te wijten aan meet- en rekenfouten, want dan zouden bij elke stap deze rek-concentraties op een random positie komen te liggen. Dit vanwege de random verdeling van de meetfout. Het is dus duidelijk, dat deze rekconcentraties daadwerkelijk optreden. Deze rekvariaties zijn te wijten aan een spreiding in de vezeldichtheid van de vezels in langsrichting, of een lokale voorkeursrichting van de vezels. De lokale rekvariaties wijken in de orde van 10 % af van de gemiddelde absolute rek bij een bepaalde belasting. Het materiaal is lokaal dus quasi-isotroop. D.w.z. dat er slechts lichte variaties in de rekvelden optreden t.g.v. de glasvezels.

Uit de lokale rekvelden kunnen de gemiddelde rekken bepaald worden, van waaruit dan de gemiddelde E-moduli berekend kunnen worden. De resultaten van die berekeningen staan in tabel 10. De gemiddelde E-moduli zijn lager dan wat in hoofdstuk 2 gevonden werd. Dit

Nr.	E [MPa] 0°-richting	Nr.	E [MPa] 90°-richting
1	4466	6	3543
2	6159	7	4136
3	6115	8	4539
4	4629	9	3727
5	4111	10	3787
gem.	5096		3946
std.	968.7		394.8

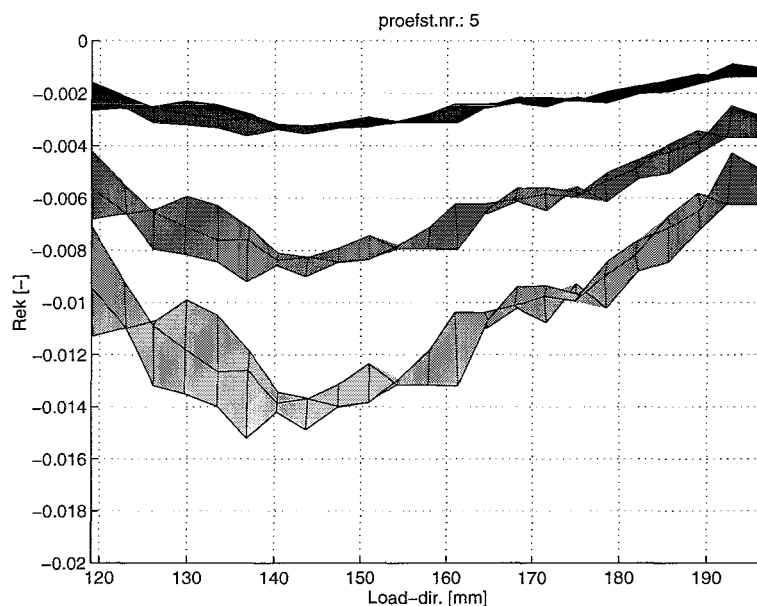
Tabel 10: Berekende gemiddelde E-moduli van de Hentschel-proefstaven.

komt o.a. doordat de E-modulus bij een hogere belasting werd bepaald. Later zal worden aangetoond, dat SGFPP niet lineair elastisch is en dat de E-modulus lager wordt, naarmate de belasting toeneemt. Een tweede oorzaak van de afwijkingen t.o.v. wat in hoofdstuk 2 werd gevonden is dat er met het middelen een fout wordt geïntroduceerd. Eigenlijk zouden de lokale E-moduli bepaald moeten worden. Dit is echter niet mogelijk, omdat men dan ook lokaal spanningen zou moeten meten. Wel kan opgemerkt worden dat ook hier de E-modulus



in 0°-richting groter is dan in 90°-richting.

Door de schuine opstelling van de camera wordt het invallende licht door de markers niet meer optimaal gereflecteerd. Het gevolg is dat het ruisniveau toeneemt. De dwarsrekken zijn in absolute waarde kleiner dan de langsrekken. Daardoor zijn de dwarsrekmetingen duidelijk onnauwkeuriger dan de langsrekmetingen, ofschoon er toch dwarsrekmetingen zijn die zinvolle resultaten opleveren, zoals proefstaafnr. 5. Het dwarsrekveld hiervan staat weergegeven in figuur 3. In deze figuur valt op, dat de dwarsrekken aan de randen in absolute waarde kleiner

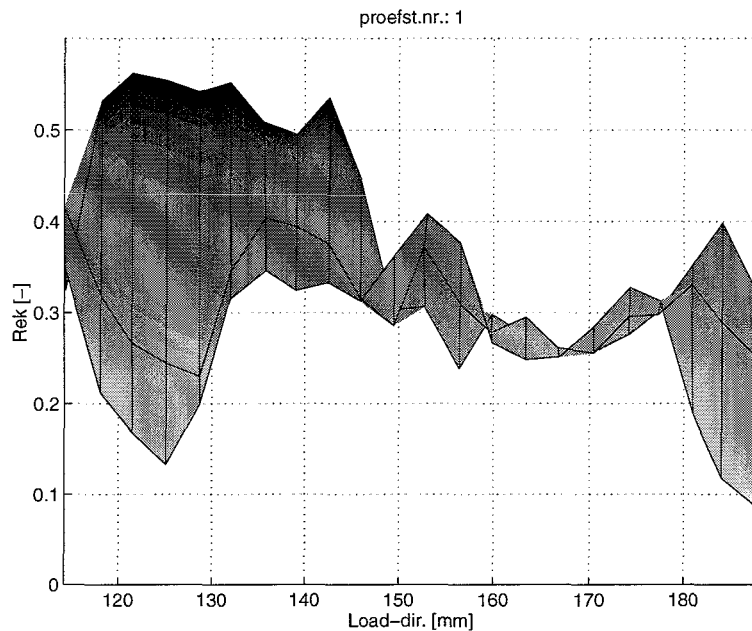


Figuur 3: Lokale dwarsrekken van proefstaaf nr.5.

zijn, dan in het midden. Dit komt, o.a. doordat de dwarscontractie werd onderdrukt door de klemmen van de trekbank.

Tevens is het mogelijk, om voor deze proefstaven de lokale Poisson-coëfficiënt te bepalen. Van proefstaaf nr.1. staat het Poisson-coëfficiënt-veld weergegeven in figuur 4. De gemiddelde Poisson-coëfficiënt van dit veld is 0,29. Opgemerkt dient te worden dat de markers aan de boven en onderzijde van de trekstaven minder scherp werden waargenomen door het meet-systeem. Dit verklaart de grotere spreiding van het Poisson-coëfficiënt-veld aan de uiteinden.

Bij een lijnspanningstoestand, zoals deze gewoonlijk optreedt, bij trekproeven op isotroop materiaal, zijn de schuifspanning en de bijbehorende afschuiving gelijk aan nul. Door de lokale anisotropie worden schuifspanningen geïntroduceerd, doordat bepaalde delen sneller rekken dan andere delen. De hierdoor ontstane afschuivingen liggen bij de maximale belasting in de orde van enkele promillen. Zoals verwacht treden de grootste afschuivingen op, ter plaatse van de grootste variaties in de rekken.



Figuur 4: Lokale Poisson-coëfficiënten van proefstaaf nr.1.

### 3.2.2 Bepaling van het verband tussen de gemeten lokale rekvelen en de globale krachtverplaatsingskromme in de niet-lineaire fase vóór de breuk.

Voor elke proefstaaf werd een krachtverplaatsingskromme bepaald. De sample frequentie van het krachtsignaal is niet exact gelijk aan die van de Hentschel-apparatuur. Er treedt dus een kleine synchronisatiefout op. Aan het eind van de meting is de synchronisatiefout kleiner dan zes samples, waarbij de kracht voor loopt op de verplaatsing. Aangezien de verplaatsing voor elke marker bij benadering lineair is, door de konstante kopverplaatsingssnelheid van de trekbank, kan hieruit kwalitatief een goede benadering van de krachtverplaatsingskromme worden bepaald. Kwantitatief wijkt deze, door de synchronisatiefout een konstante faktor af van de werkelijke kromme.

Voor de verplaatsing van de krachtverplaatsingskromme werd het verschil in verplaatsing van een bovenste en een onderste marker genomen. De globale krachtverplaatsingskrommen voor elke proefstaaf staan afgebeeld in bijlage 9 (proefstaven in  $0^\circ$ -richting) en bijlage 10 (proefstaven in  $90^\circ$ -richting). De krommen geven een korte insnoeringsfase weer. De rekmetingen zouden aan het einde, bij insnoering, lokale afwijkingen van het lineaire gedrag moeten vertonen. Deze afwijkingen zijn echter zo klein, dat ze niet waar te nemen zijn. Het proces van insnoering voltrekt zich te snel om voldoende metingen in deze fase te verkrijgen. Een verband tussen de gemeten lokale rekvelen en de globale krachtverplaatsingskromme in deze fase, is met deze proeven, door een gebrek aan data niet te geven.

In hoofdstuk 2 werd de elasticiteitsmodulus bepaald aan het begin van de trekkromme. Indien de belasting verder wordt opgevoerd, valt op dat het materiaal niet lineair elastisch is. De elasticiteitsmodulus neemt af, bij toenemende belasting. In het vorige hoofdstuk werd een hogere E-modulus gevonden, dan staat vermeld in de technical data-sheet. Dit is deels

te verklaren door de niet-lineaire elasticiteit. Waarschijnlijk is de in de technical data-sheet gegeven E-modulus bepaald bij een hogere belasting.

De treksterkte is te berekenen uit de globale krachtverplaatsingskromme, door de maximale kracht te delen door de doorsnede van de proefstaaf. De resultaten staan afgebeeld in tabel 11.

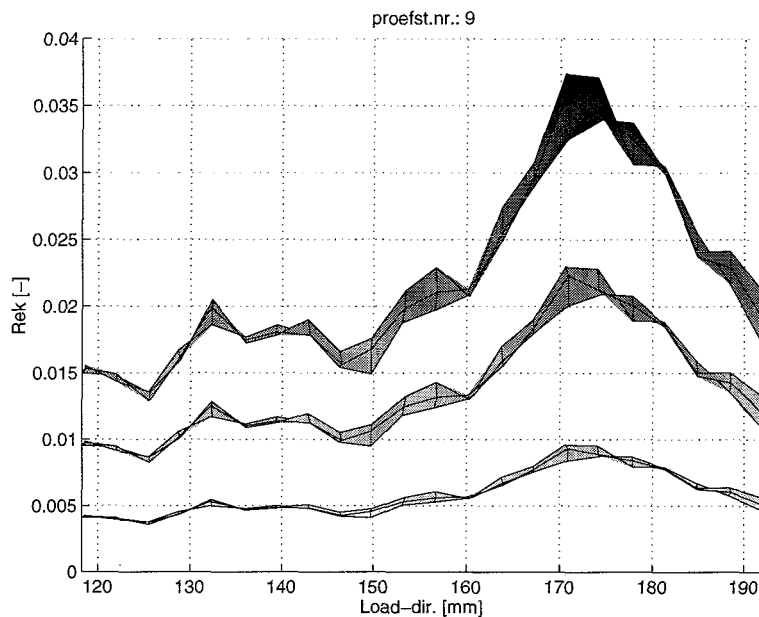
Nr.	$R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ] 0°-richting	Nr.	$R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ] 90°-richting
1	77,8	6	55,9
2	100,9	7	66,9
3	101,2	8	74,1
4	83,2	9	60,0
5	72,1	10	63,4
gem.	87,0		64,1
std.	13,4		6,9

Tabel 11: Berekende treksterktes van de Henschel-proefstaven.

In paragraaf 2.2.4 vonden we een isotropiefactor van 1,49. Ook hier is te zien dat het materiaal beduidend sterker is in 0°-richting. Hoewel de steekproefgrootte gezien de spreiding waarschijnlijk onvoldoende is, kan toch, door rekening te houden met de standaardafwijkingen van de metingen, een eerste indruk worden gegeven van de isotropiefactor voor de treksterkte. Deze is  $1,7 \pm 1,1$ .

### 3.2.3 Fenomenologische beschrijving van de process-zone en de lokalisatie van de deformaties vóór de breuk.

In de vorige paragraaf was al vastgesteld dat de insnoering met deze proeven niet gemeten is, doordat in deze fase onvoldoende meetpunten beschikbaar zijn. Toch is het in sommige gevallen mogelijk de lokalisatie van de breuk te meten. In deze gevallen is de spreiding in de vezelverdeling voldoende groot, zodat er lokaal duidelijk stijfheidsverlagingen, door afwezigheid van voldoende glasvezels in die richting, te zien zijn. Dit uit zich in rek concentraties over een groot gebied. Proefstaaf nr. 9 (figuur 5) is hier een goed voorbeeld van. Hier kunnen we duidelijk zien waar de proefstaaf zal gaan breken. Namelijk ongeveer op positie 172 mm. Doordat de rekvelden in de elastische fase en in de niet-lineaire schade-fase nauwelijks in structuur verschillen kan deze voorspelling al in een vroeg stadium, bij lichte elastische belastingen, gedaan worden. Hierbij moet echter opgemerkt worden, dat de voorspellingen alleen gedaan kunnen worden bij aanwezigheid van slechts één gebied met duidelijke rekconcentraties. Bij een normale min of meer gelijkmatige verdeling van de glasvezels, kan de breuk optreden, op een plaats, waar niet de hoogste rekken gemeten werden. Wel kan gezegd worden, dat de breuk altijd optreedt ter plaatse van een rekconcentratie.



Figuur 5: Lokale langsrekken van proefstaaf nr.9.

## 4 Conclusies en aanbevelingen.

### 4.1 Conclusies.

Uit het voorgaande blijkt dat het materiaal SGFPP niet isotroop is, zoals vooropgesteld in de technical data-sheet. De isotropiefactor werd bepaald op 1,49. De E-modulus van SGFPP bedraagt volgens de fabrikant 4026 MPa. Volgens de rekstrook-metingen is de E-modulus in 0°-richting  $6695 \pm 1284$  MPa en in 90°-richting  $4499 \pm 299$  MPa. Dit is dus in tegenspraak met de technical data-sheet. De Poisson-coëfficiënt werd volgens diezelfde proeven vastgesteld op  $0,37 \pm 55,6 \cdot 10^{-3}$  in 0°-richting en  $0,28 \pm 19,2 \cdot 10^{-3}$  in 90°-richting. De treksterkte werd bepaald op  $87,0 \pm 38,7$  MPa, resp.  $64,1 \pm 19,9$  MPa, tegenover 56,2 MPa in de technical data-sheet. Hoewel de treksterkte minder nauwkeurig werd bepaald, geeft deze hetzelfde beeld als bij de verificatie van de E-modulus. Namelijk dat de gemeten waarden hoger liggen dan de gegeven waarden op de technical data-sheet en dat de sterkte in 0°-richting groter is dan die in 90°-richting.

Met de Hentschel-apparatuur is vastgesteld dat ook lokaal kleine anisotropie-verschijnselen optreden. De rekken kunnen lokaal 10 à 20 % van de globale absolute rek afwijken. Hierdoor is het moeilijk om lokaal de elasticiteit van SGFPP vast te stellen. Wel is het in sommige gevallen mogelijk om voor de insnoering al te bepalen waar de proefstaaf zal gaan breken. Het materiaal is bij de breuk erg bros. Uit de globale krachtverplaatsingskrommen valt af te leiden, dat de insnoering zeer kort is.

## 4.2 Aanbevelingen.

Ten eerste kunnen deze proeven herhaald worden, met proefstaven die dusdanig voorbereekt zijn dat het oppervlak matter is. Hierdoor kan de camera recht voor de proefstaaf geplaatst worden, met als resultaat dat de signaal-ruis-verhouding verbeterd wordt.

Ten tweede kan de kopverplaatsingsnelheid lager gekozen worden of de sample frequentie hoger gekozen worden. Hierdoor worden bij de breuk meer meetgegevens verkregen. De meetcapaciteit van de Hentschel-apparatuur is echter begrensd (128 kb). Omdat het moment van insnoering moeilijk te voorspellen is, moet er ver van tevoren begonnen worden met meten. Om dan toch de hele periode te kunnen meten moet de 'transfer rate' op de Hentschel-apparatuur verlaagd worden. Het gevolg hiervan is dat er weer te weinig meetpunten verkregen worden.

Tenslotte kan onderzocht worden of het met een servo-gestuurde verplaatsingscontrole van de kopverplaatsing van de trekbank mogelijk om de insnoering te vertragen, waardoor juist op de momenten dat het nodig is meer meetpunten verkregen worden en misschien zo een beter inzicht in de process-zone verkregen kan worden.

## 5 Geraadpleegde literatuur.

- [1] American Society for Testing and Materials. 1993 Annual book of ASTM standards (volume 08.03: Plastics(I)). Easton, MD, U.S.A., 1993. ISBN 0 8031 1946 1, p. 161 - 173.
- [2] M. Verduin, L.H. Braak. Experimentele mechanica (versie 1991). Eindhoven 1994. Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit Werktuigbouwkunde, Vakgroep Fundamentele Werktuigbouwkunde, dictaatnr. 4579, hoofdstuk: Inleiding meten, p. 12 -15, hoofdstuk: Opnemers, p. 30 - 32.
- [3] Peekel Instruments B.V. CA100 Series high performance amplifier system. p. 5 - 16.
- [4] J.A.G. Kals, W.H. Sillekens. Bewerkingstechnologie. Eindhoven 1994. Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie en -Automatisering, sectie Bewerkingstechnologie, dictaatnr. 4558, p. 66.
- [5] C. Chatfield. Statistics for technology. third edition (revised), London, 1994. Chapman & Hall, ISBN 0 412 25340 2, p.237 - 241.
- [6] H. Zamzow. The Hentschel Random Acces Tracking System HSG 84.30. SPIE, 1990, vol. 1356, p. 130 - 133.
- [7] M.G.D. Geers, R. de Borst, W.A.M. Brekelmans. Computing strain fields from discrete displacement fields in 2D-solids. International Journal of Solids and Structures. verschijnt binnenkort.
- [8] F. Deprettere. SVD and signal processing – Algorithms, Applications and Architectures. Department of Electrical Engineering, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands. 1988 Elsevier Science Publishers B.V.
- [9] A.M.M. Muijtens e.a. Noise reduction in estimating cardiac deformation from marker tracks. Special Communications, 1990. American Physiological Society.

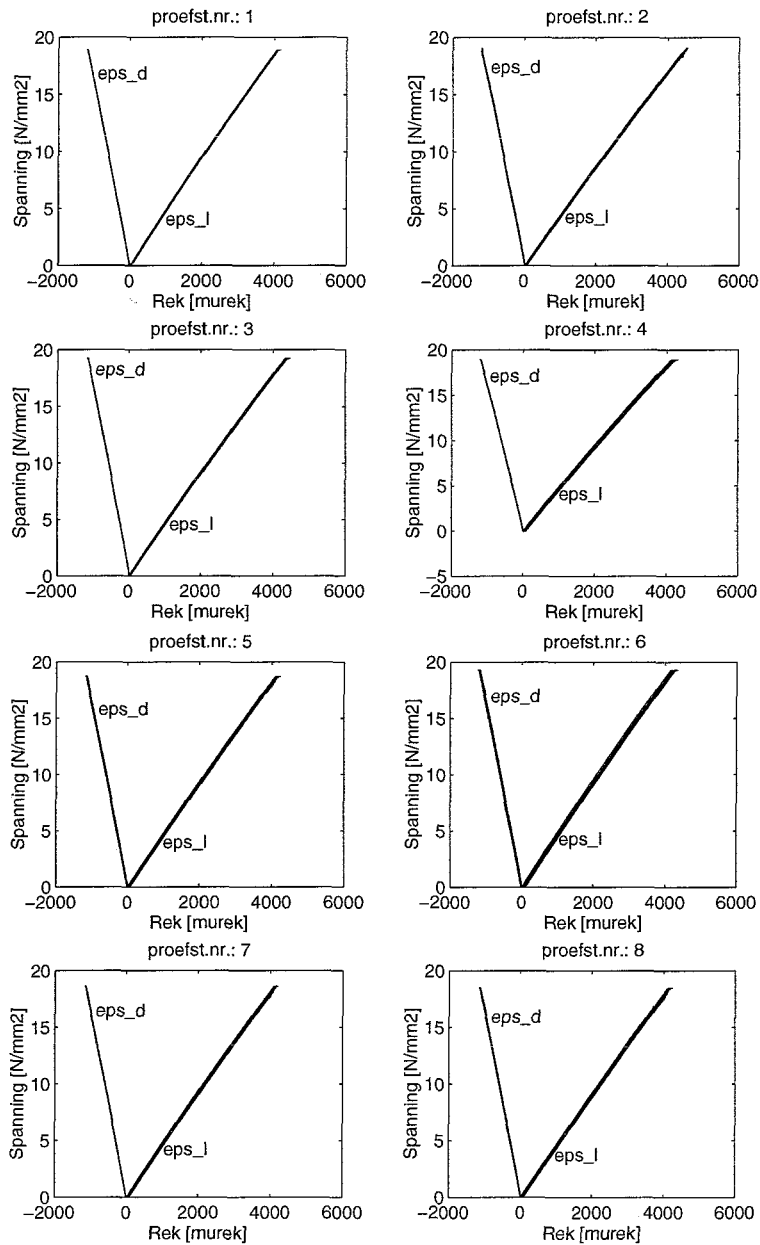
## 6 Bijlagen.

### Bijlage 1: Technical data-sheet van SGFPP.

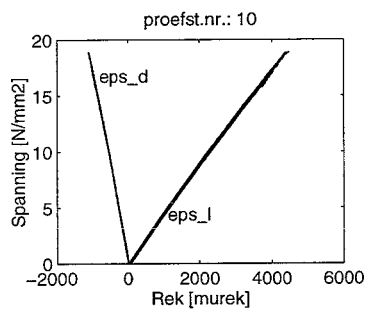
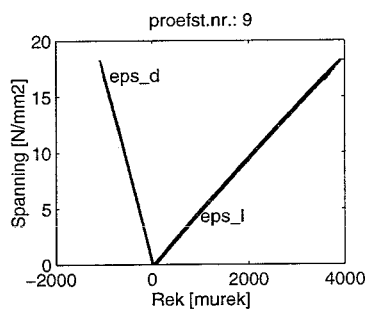
<u>Property</u>	<u>Test Method</u>	<u>English Units</u>	<u>SI Units</u>
Mechanical			
Tensile Strength	D-638	8.1 ksi	56.2 MPa
Tensile Elongation @ Break	D-638	2.5 %	2.5 %
Tensile Modulus	D-638	584 ksi	4026 MPa
Flexural Strength	D-790	14.5 ksi	99.8 MPa
Flexural Modulus	D-790	564 ksi	3893 MPa
Izod Impact Strength (Notched @ 73F, 0.125")	D-256	12.5 ft-lbs/in	671 J/m
Multiaxial Impact (0.125" thickness)	D-3763		
Max Load		456 lbs	207 Kg
Energy Max Ld		6.6 ft-lbs	8.9 Joules
Energy @ Failure		13.2 ft-lbs	17.9 Joules
Thermal			
Heat Deflection Temperatuur @ 264 psi	D-648	298 F	148 C
Physical			
Glass Constant by Weight	Ashing	30 %	30 %
Specific Gravity	D-792	1.13	1.13
Basis Weight		0.800 lbs/ft <sup>2</sup>	3.906 Kgms/m <sup>2</sup>

Bron: Thermoplastic Composites  
 AZDEL, Inc.  
 Technology Center  
 658 Washburn Switch Road  
 Shelby, North Carolina 28151-2284  
 (704) 482-3441

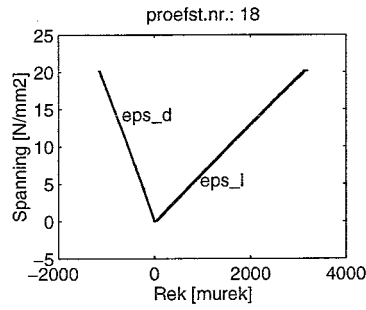
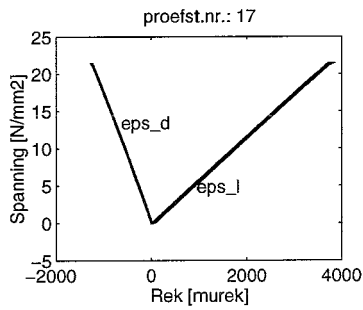
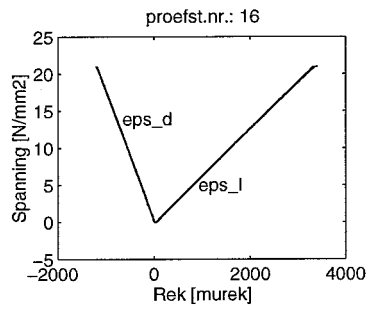
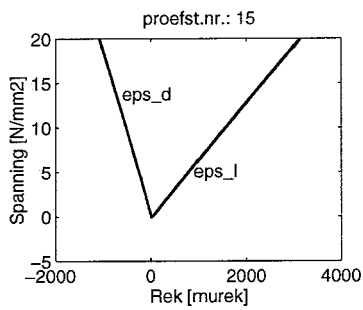
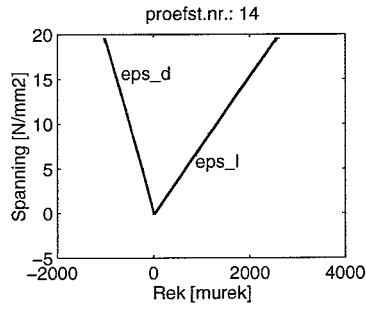
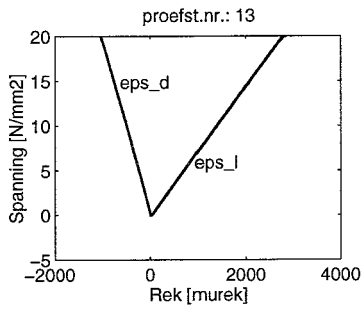
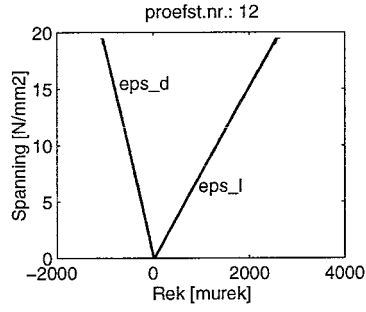
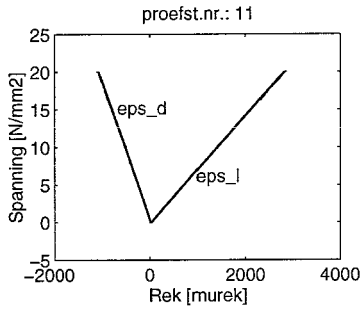
Bijlage 2: Rekstrookmetingen op proefstaafnrs. 1 t/m 10 (90°-richting).

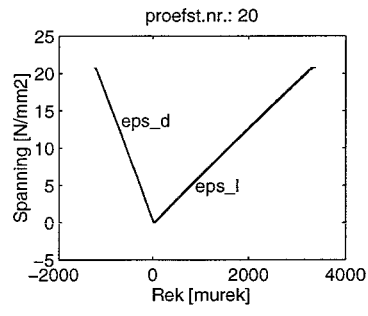
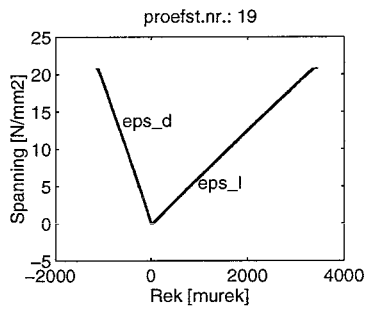




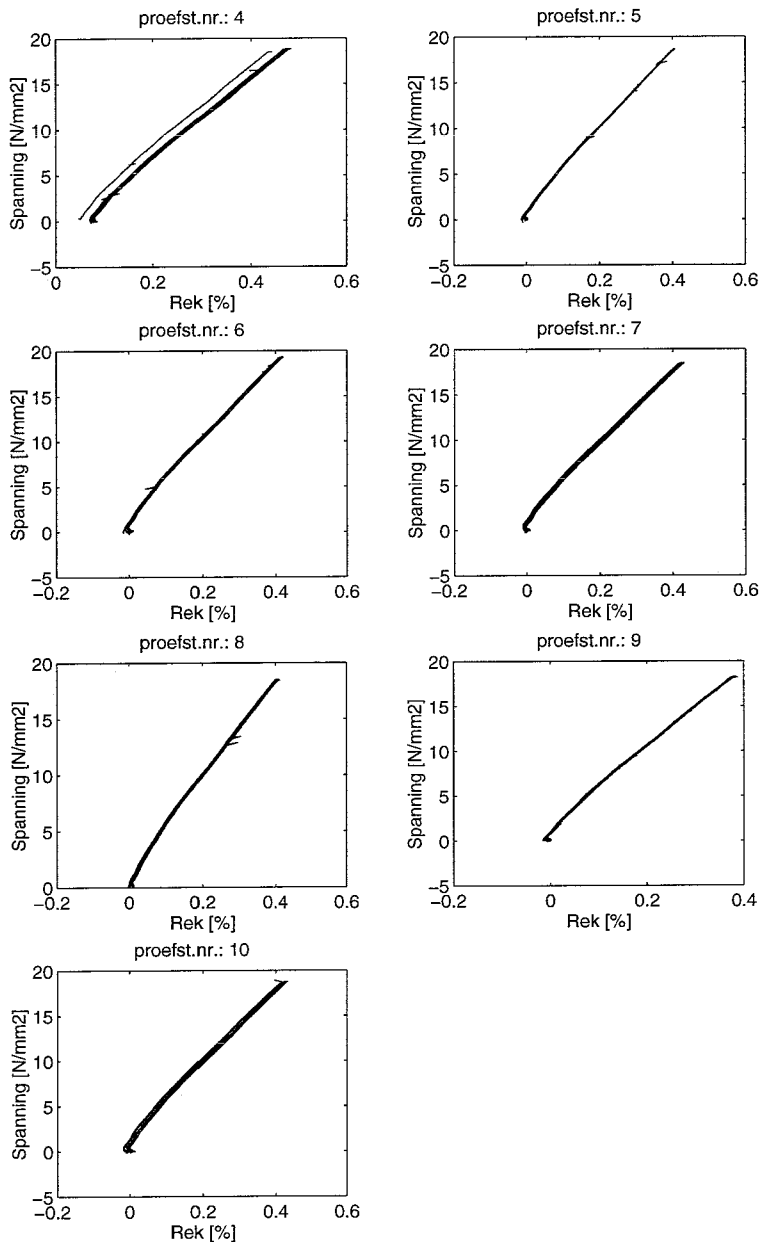


Bijlage 3: Rekstrookmetingen op proefstaafnrs. 11 t/m 20 (0°-richting).

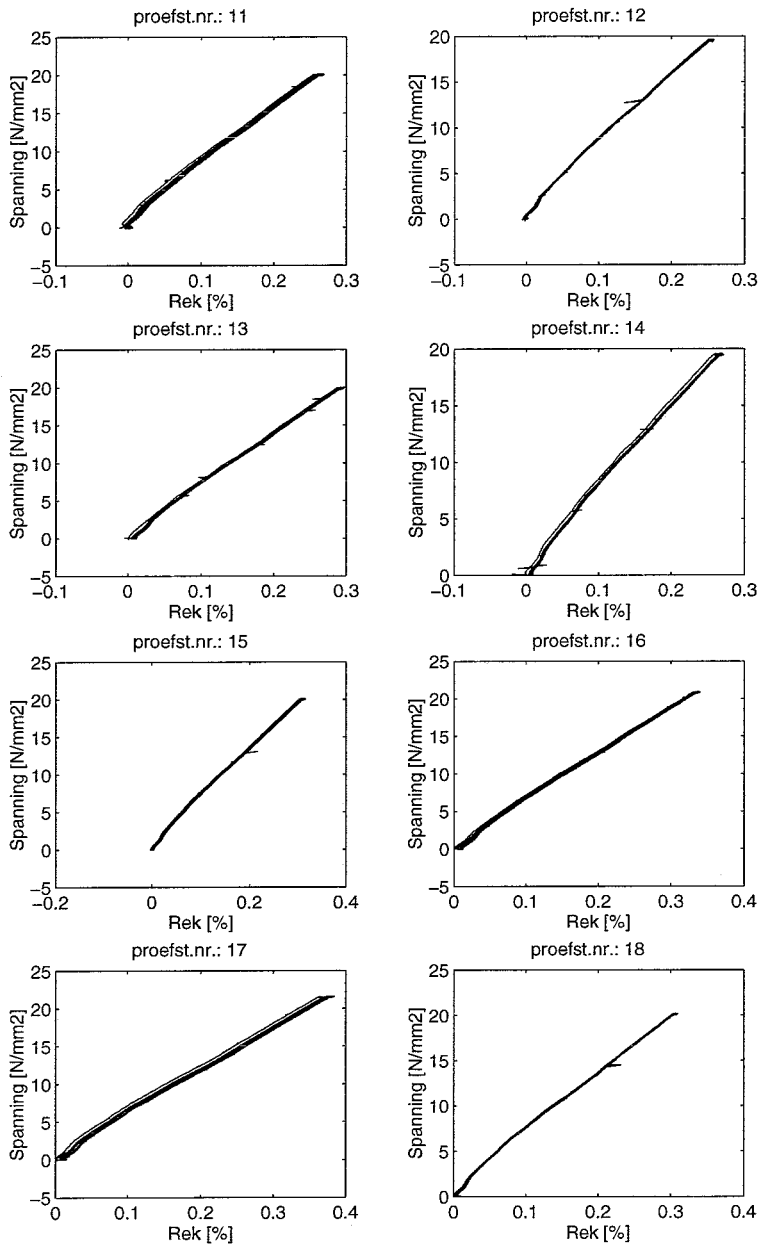


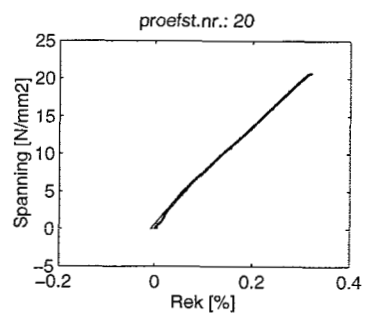
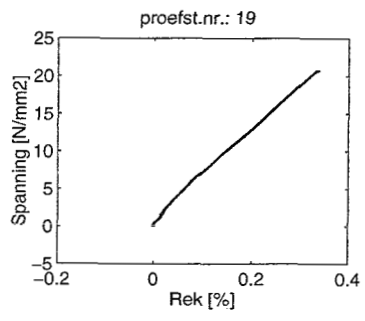


Bijlage 4: Verlengingsmetingen op proefstaafnrs. 4 t/m 10 (90°-richting).



Bijlage 5: Verlengingsmetingen op proefstaafnrs. 11 t/m 20 (0°-richting).





## Bijlage 6: Instellingen van de Hentschel-apparatuur.

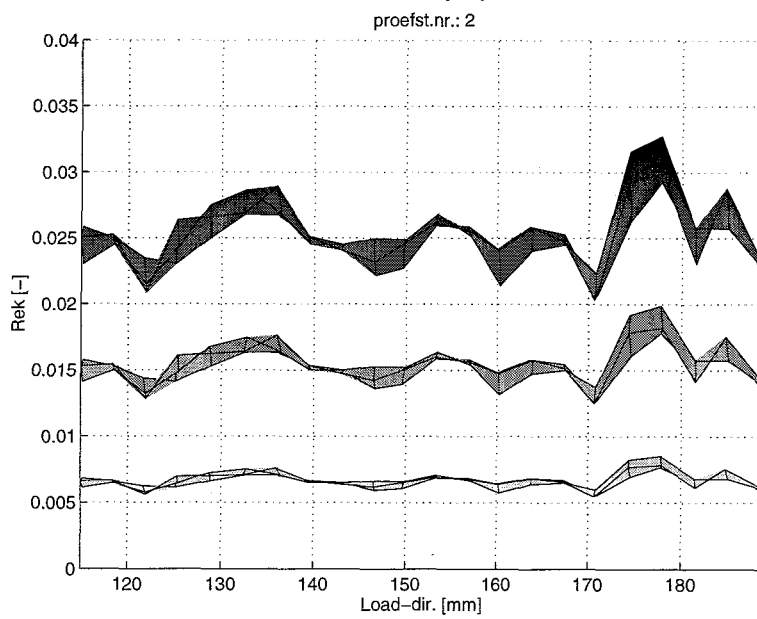
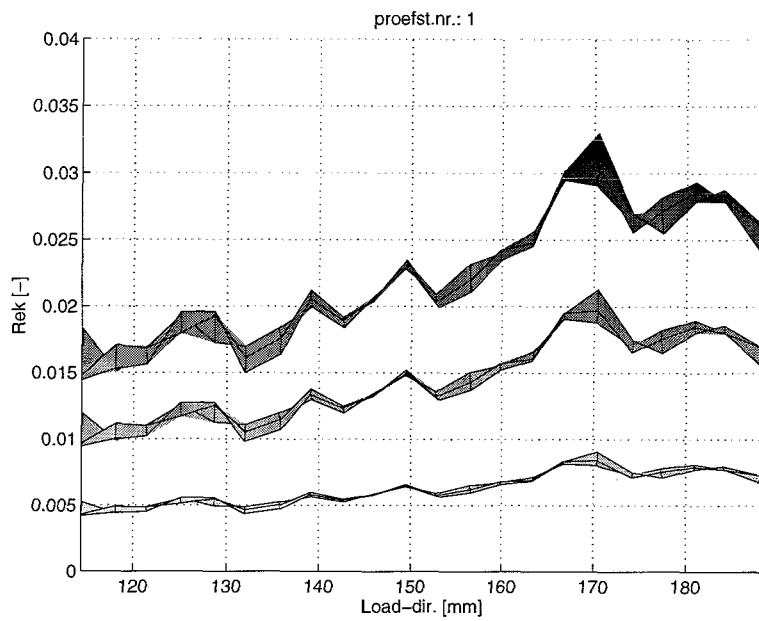
Instellingen zoals die door de gebruiker werden ingesteld:

CAMERA NR	:	2	
WINDOW SIZE	:	1.4	%
NUMBER OF TARGETS	:	120	
SAMPLE RATE	:	937.5	Hz
TRANSFER RATE	:	4	
LEFT LIMIT	:	0	
RIGHT LIMIT	:	4004	
STEP	:	15	

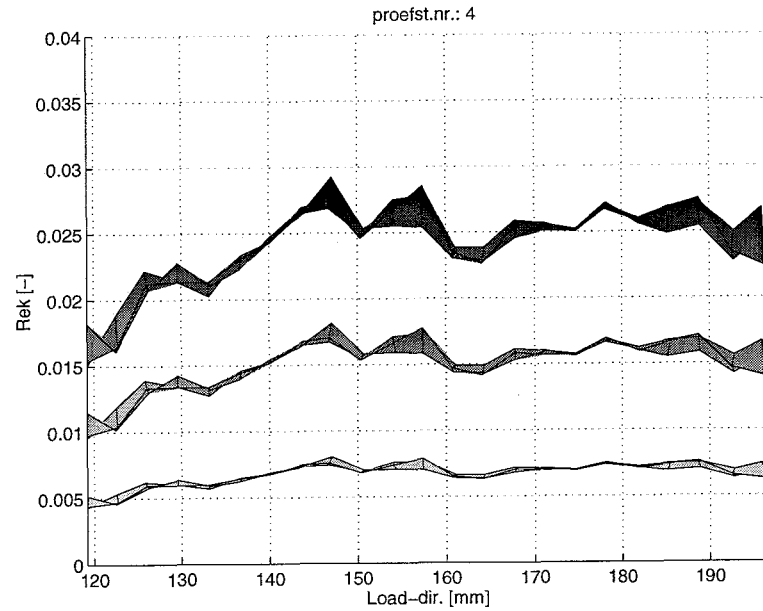
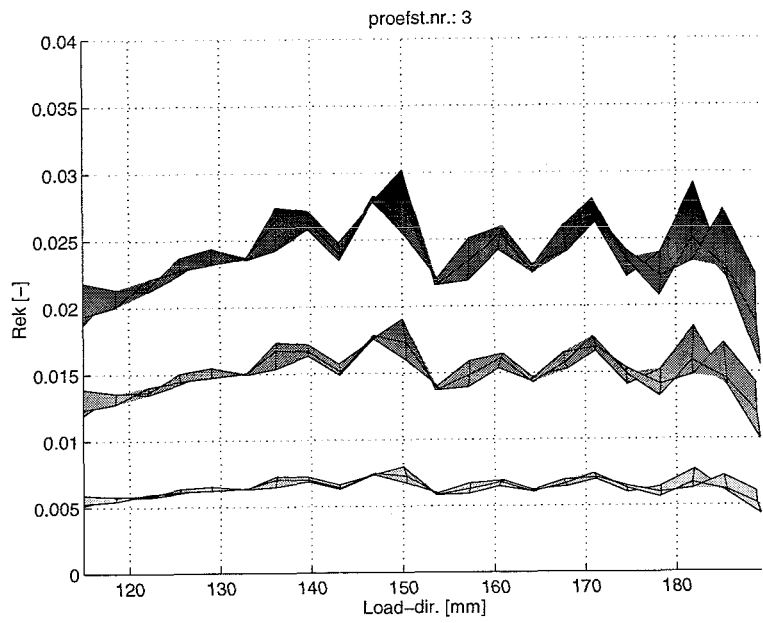
Instellingen door de computer uitgerekend uit de bovenstaande instellingen:

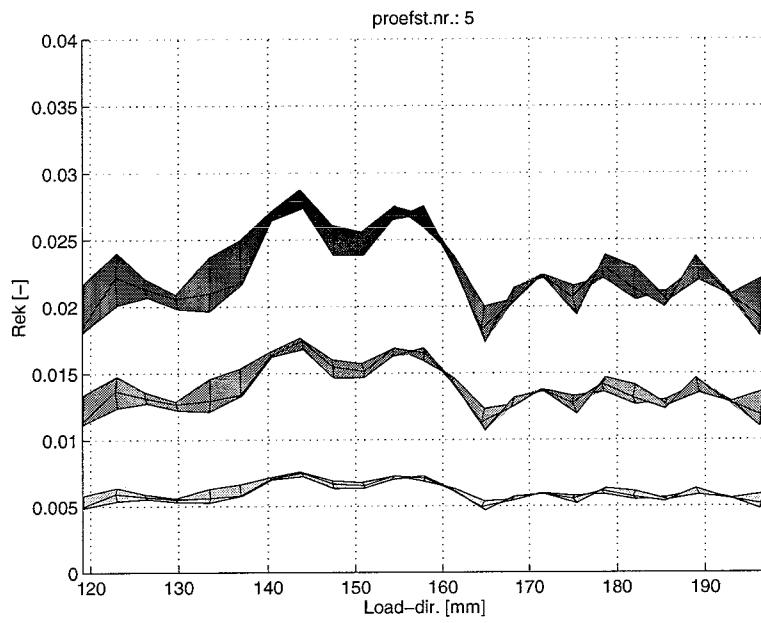
ACQUISITION RATE	:	234.4	Hz
SAMPLE RATE/TARGET	:	2.0	Hz
# SAMPLES/TARGET	:	136.5	
ACQUISITION TIME	:	72.4	s
MAXIMUM RESOLUTION	:	16384	pixels

Bijlage 7: De rekvelden van proefstaafnrs. 1 t/m 5 (0°-richting).

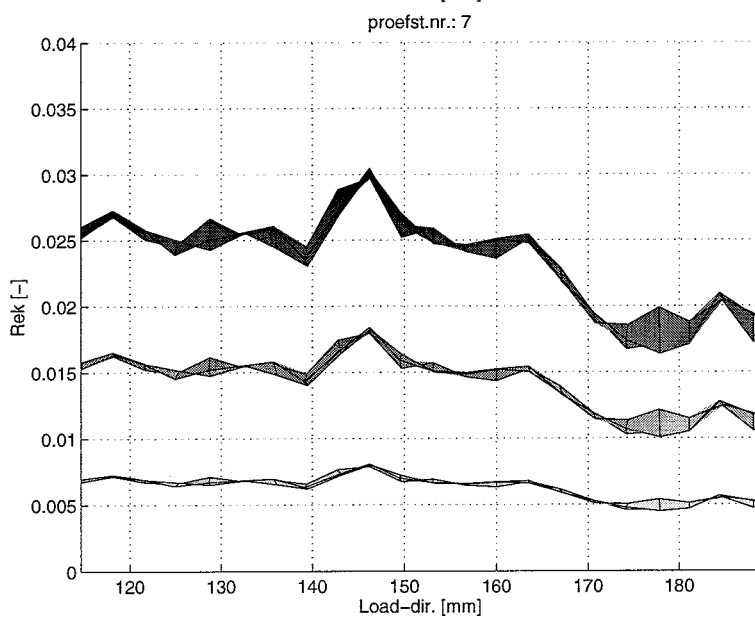
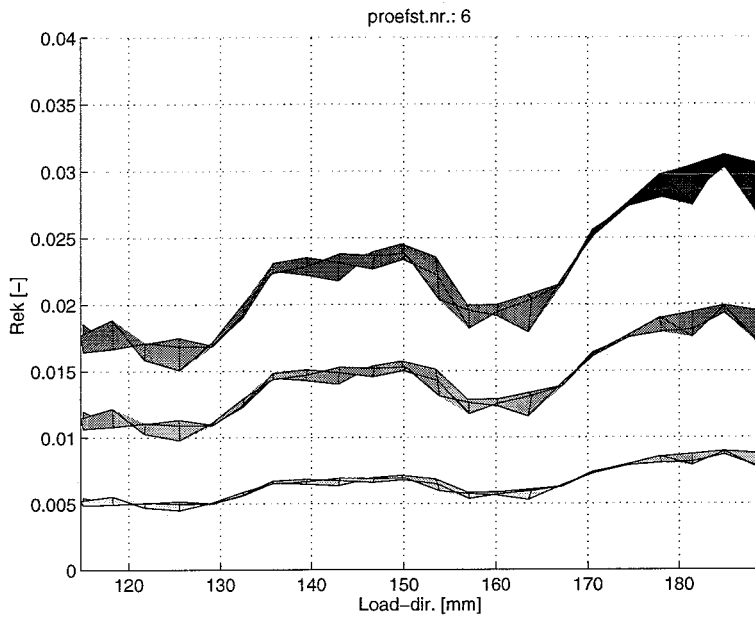


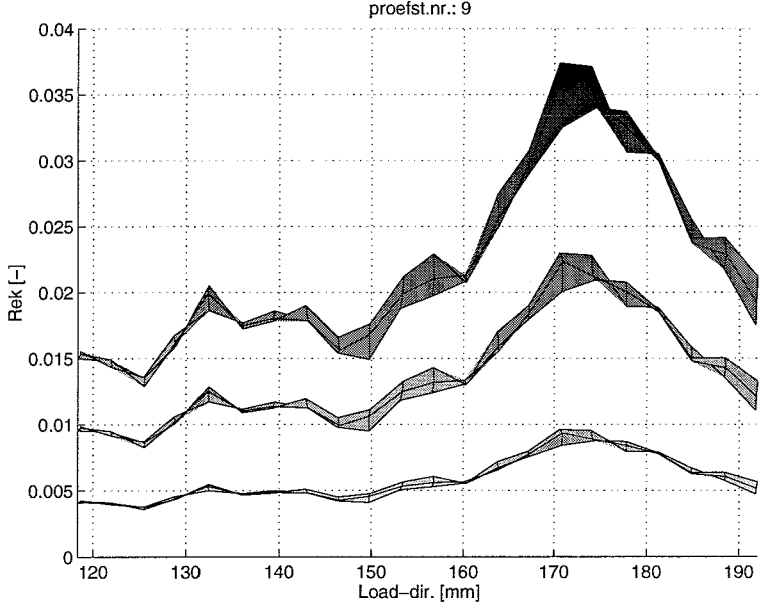
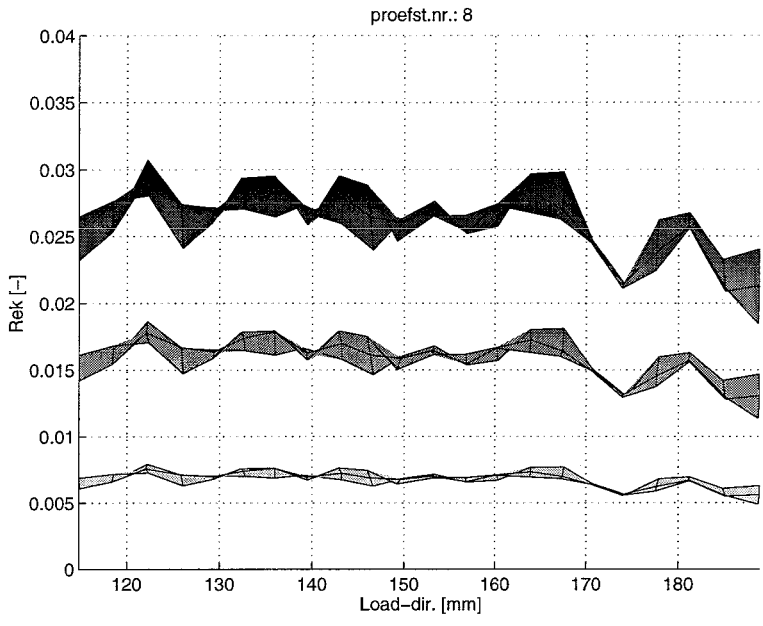


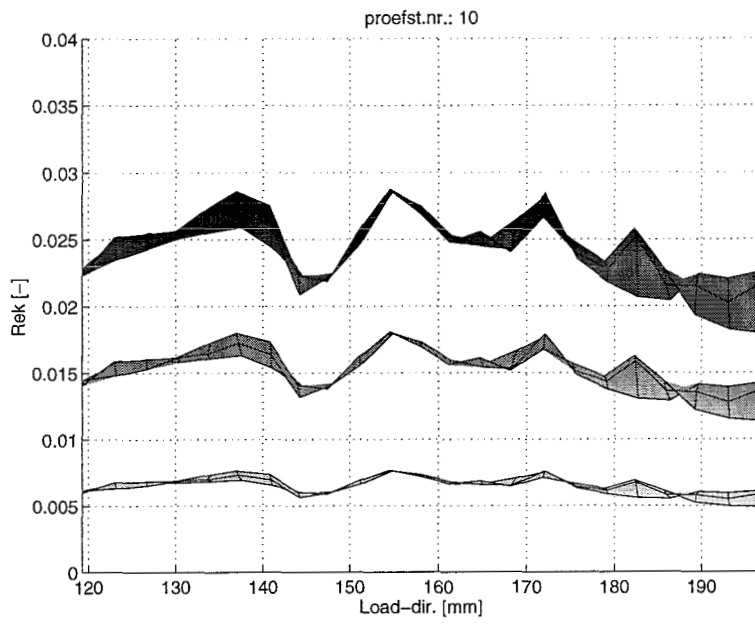




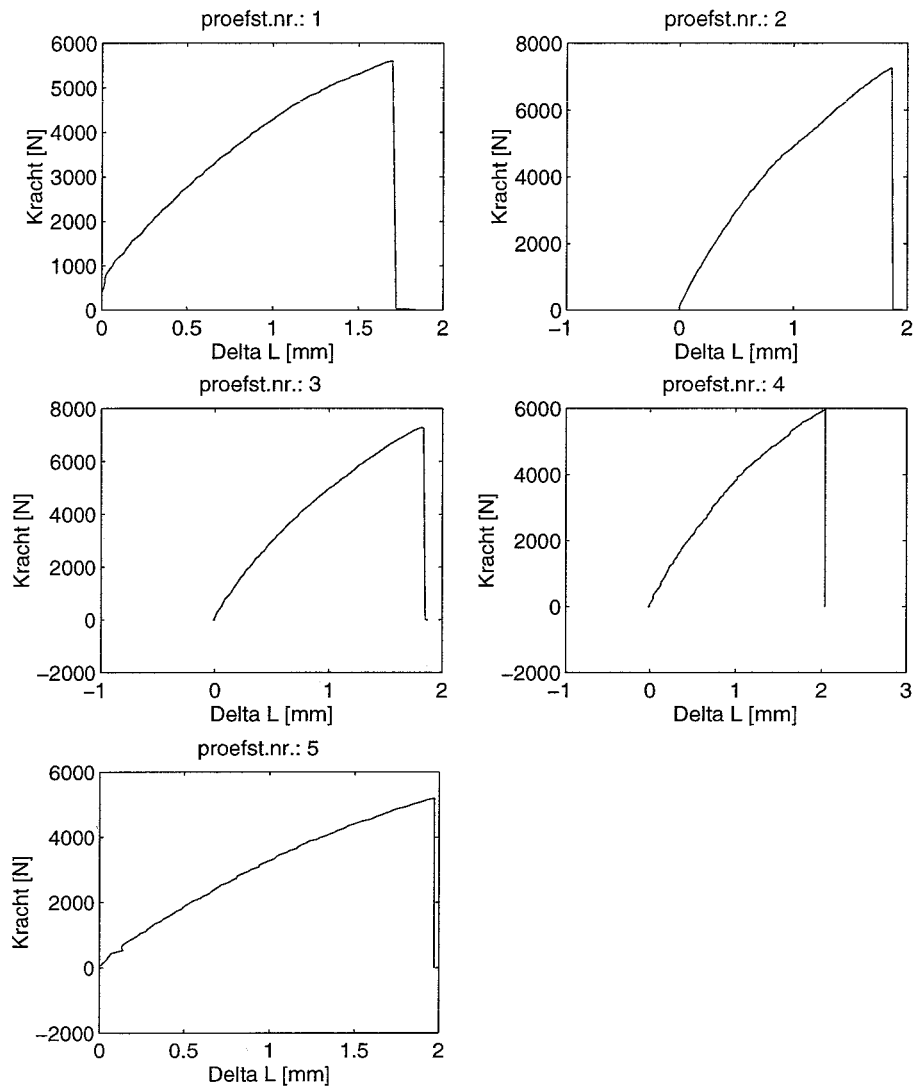
Bijlage 8: De rekvelden van proefstaafnrs. 6 t/m 10 (90°-richting).







Bijlage 9: Globale krachtverplaatsingskrommen van proefstaafnrs. 1 t/m 5 (0°-richting).



Bijlage 10: Globale krachtverplaatsingskrommen van proefstaafnr. 6 t/m 10 (90°-richting).

