

A  
21

Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente  
Vestiging Naaldwijk  
Kruisbroekweg 5, Postbus 8, 2670 AA Naaldwijk  
Tel 0174-636700, fax 0174-636835

## EEN METHODE VOOR DE OBJECTIEVE METING VAN DE STEVIGHEID VAN FREESIASTELEN

Project 1711

M. Kersten, W. Verkerke & J. Doorduyn

Naaldwijk, mei 1998



Intern verslag 129

2204867

# INHOUD

<b>SAMENVATTING</b>	4
<b>1. INLEIDING</b>	5
<b>2. MATERIAAL EN METHODEN</b>	6
2.1 Algemene gegevens eerste testen	6
2.2 Metingen aan de hoofdtakken	7
2.3 Metingen aan de tweede haak	7
2.4 Metingen aan 56 rassen	7
2.5 Verloop van de metingen	8
<b>3. RESULTATEN</b>	9
3.1 Hoofdtakken uit de temperatuurproef	9
3.2 Tweede haak uit de temperatuurproef	10
3.3 Rassen	12
<b>4. DISCUSSIE</b>	15
<b>5. CONCLUSIES</b>	15
<b>LITERATUUR</b>	16
<b>BIJLAGEN</b>	17
Bijlage 1     Theorie en uitvoering van de driepunts-buigtest	17
Bijlage 2     Plunjer en onderplaat eerste testen	19
Bijlage 3     F/ $\delta$ curve van hoofdtakken van behandeling 1 en 4	20
Bijlage 4     Nieuwe meetopstelling	21
Bijlage 5     Overzicht filenamen	22

## **SAMENVATTING**

In dit verslag wordt een methode beschreven om de stevigheid (buigzaamheid) van freesiastelen objectief te bepalen met de druk-trekbank. Als instrumentele parameter voor de stevigheid is de stijfheidsfactor  $EI$  gekozen.  $EI$  is een maat voor de weerstand tegen vervorming van de steel. De methode is in principe ook toepasbaar voor het meten van stevigheid van de stengel bij andere bloemisterijgewassen.

## 1. INLEIDING

Een te grote buigzaamheid van freesiastelen is een negatief kwaliteitsaspect. De handel heeft een duidelijke voorkeur voor stevige, rechte stelen; slappe stelen brengen minder geld op. In een teeltproef onder assimilatiebelichting is onderzocht of de temperatuur van invloed is op de verdeling van assimilaten, takproductie en kwaliteit (Doorduyn, in voorbereiding). In deze proef werden met de hand verschillen in stevigheid geconstateerd. Naar aanleiding van deze waarnemingen is een onderzoek met de Instron druk-trekbank uitgevoerd om na te gaan of deze sensorische verschillen in stevigheid ook instrumenteel konden worden gemeten.

Voor een instrumentele meting moet de sensorische bepaling min of meer worden nagebootst. Freesiatelers en VKC-keurmeesters buigen de stengel (voorzichtig) tussen de duim en één of twee vingers van een hand. Bij een instrumentele meting van stevigheid wordt een object een paar millimeter gebogen in een drie-punts buigtest (ISO norm, 1975; Vincent, 1990). De driepunts-buigtest is al bij stelen gebruikt van cyclaam (Vocke & Speck, 1994) en boterbloem (Usherwood *et al.*, 1997). In oriënterende metingen bleek dat deze test bij Freesia ook bruikbaar was (Verkerke, 1992). Vooraf werd intuïtief een bepaalde spanwijdte gekozen. Na de eerste serie testen is een methodisch onderzoek uitgevoerd waarbij de optimale spanwijdte werd bepaald. Met de nieuwe opstelling is ten slotte een inventariserend onderzoek uitgevoerd bij 56 rassen van 6 herkomsten.

## 2. MATERIAAL EN METHODEN (Tabel 1, Bijlagen 1 - 4)

### 2.1 Algemene gegevens eerste testen (Tabel 1, Bijlagen 2, 3)

projectnummer	1711
ras	'Aladin'
plantdatum	11 augustus 1997
kas	PBG Naaldwijk Kas 210 - C (8 afdelingen)
behandelingen	4 temperatuurregimes (Tabel 1) in twee herhalingen
Instron methode	compressive method nr. 86, met 1 KN meetcel, plexiglazen plunjer in een klem, en aanbeeld met multiplex onderplaat.
plunjer	wig van plexiglas (9 x 30 x 50 mm) met een afgeronde uitsparing waar de stengel in past (Figuur 3a, 3b).
onderplaat	een multiplex plankje van 1.5 x 10 x 10 cm met een centrale ronde uitsparing van 5 cm diameter en gleuven van verschillende breedte voor de stengels (Figuur 4a - c).
positionering plunjer	met behulp van het zwarte handvat van een prepareernaald werd de plunjer 6 mm boven de onderkant van de gleuf in de onderplaat gepositioneerd; daarna ging de plunjer 4 mm omhoog met de jog knop waarna de werkafstand op nul werd gezet. De werkafstand (gauge length) bedroeg dus 10 mm.
testen	de plunjer buigt de stengel door met een balksnelheid van 10 of 50 mm/minuut tot de bovenkant van de stengel op het niveau komt van de gleuf in de onderplaat (Figuur 5).
parameters	H = helling van de curve (N/mm) in het gebied 0.1- 2.0 mm verplaatsing vanaf raken (= de stijfheid) D = dikte stengel (mm), aanvankelijk met de Instron gemeten, maar later met de schuifmaat gemeten en ingevoerd op de Instron. E = elasticiteitsmodulus (GPa), Bijlage 1. EI = stijfheidsfactor (MNmm <sup>2</sup> ), Bijlage 1.
uitvoering metingen	Monica Kersten

Tabel 1 - Overzicht van de in kas 210 - C aangelegde behandelingen bij Freesia

---

behandeling	temperatuurregime
1	dagtemperatuur, zonder verhoging
2	dagtemperatuur met een lichtafhankelijke verhoging van 5°C bij 250 W/m <sup>2</sup>
3	dagtemperatuur met een lichtafhankelijke verhoging van 10°C bij 250 W/m <sup>2</sup>
4	dagtemperatuur met een lichtafhankelijke verhoging van 15°C bij 250 W/m <sup>2</sup>

---

## 2.2 Metingen aan de hoofdtakken

oogst- en meetdatum	per herhaling werd een bos van 10 takken geoogst door C. Zwinkels en geward door M. Kersten op 20 januari 1998.
sensorische beoordeling	de stevigheid van 2 of 3 hoofdtakken van de bos werd door J. Ettema en J. Doorduyn beoordeeld op een schaal van 1 - 5, waarbij 1 = zeer buigzaam en 5 = zeer stug.
monstername	van elke hoofdtak werd vlak onder kam een stuk van 10 cm geknipt. Van de haken van de hoofdtak werd een stuk van 10 cm in het rechte gedeelte geknipt.
monstergrootte	tien takken per herhaling, waarvan er vijf bij snelheid 10 en vijf bij snelheid 50 mm/minuut werden gemeten.

## 2.3 Metingen aan de tweede haak

oogst- en meetdatum	per herhaling werd een bos van 20 takken geoogst door C. Zwinkels op 3, 13 en 20 februari 1998 van respectievelijk behandeling 4, behandeling 2 en 3, en behandeling 1. De takken werden door M. Kersten geward.
sensorische beoordeling	de stevigheid van elke tak werd afzonderlijk beoordeeld door J. Doorduyn.
monstername	van elke tak werd vlak onder kam een stuk van 10 cm geknipt.
monstergrootte	tien takken per herhaling, gemeten met een balksnelheid van 10 mm/minuut.

## 2.4 Metingen aan 56 rassen (Bijlage 4)

oogstdatum	30 maart 1998, 10 takken per ras, 56 rassen, ca. 10 rassen per veredelingsbedrijf (geleverd door J. Doorduyn) + 5 vergelijkingsrassen uit het gebruikswaarde-onderzoek (geleverd door J. Ettema).
plantperiode	eerste helft oktober 1997.
bewaarcondities	De takken zijn tot de volgende dag op water bewaard bij 5°C.
meetdatum	31 maart 1998, 56 bossen zijn geward en per bos in een vaas gezet; 3 takken per bos kregen een label.
sensorische beoordeling	door J. Doorduyn en J. Ettema werden de 3 gelabelde takken per bos beoordeeld.
rassen	totaal 56 rassen van 5 bedrijven en het gebruikswaarde-onderzoek (alle onder code).
monstername	van elke tak werd vlak onder kam een stuk van 10 cm geknipt.
monstergrootte	tien takken per ras, gemeten met een balksnelheid van 10 mm/minuut.
instronmethode	voor deze proef werd de nieuwe meetopstelling gebruikt (Bijlage 4) en meetmethode 88. Van de 10 takken werd de diameter handmatig gemeten en na de meting in de computer ingevoerd.

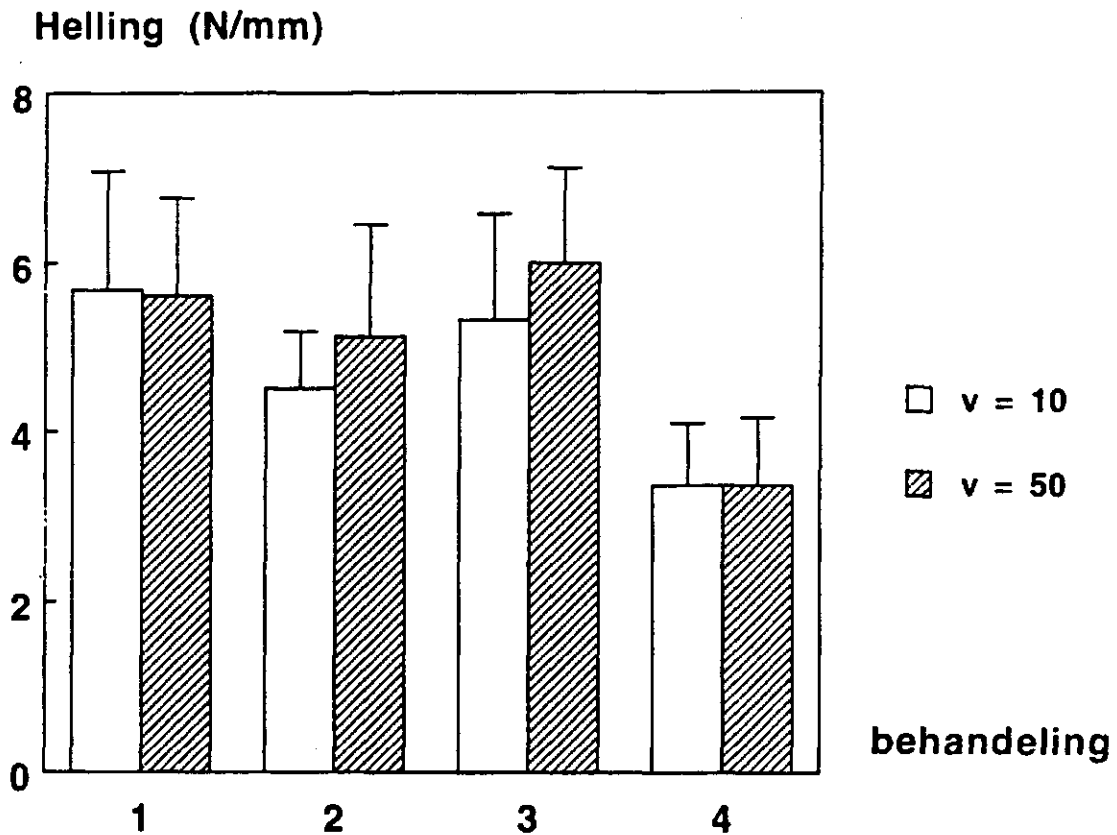
## 2.5 Verloop van de metingen

Omdat vooraf gevreesd werd dat er weinig verschillen in stevigheid zouden optreden, werden aanvankelijk ook de meege oogste haken aan de hoofdtak gemeten. Omdat deze echter bogen volgens een ander type kracht/deformatie curve, kon in deze test de helling niet zinvol berekend worden. Waarschijnlijk moet bij het meten van deze, nog niet volledig uitgegroeide en dus slappere stengels een volledig andere spanwijdte worden gekozen (Vincent, 1990). Bovendien waren de haken erg bochtig, zodat dat de test moeilijk uitvoerbaar was. Deze resultaten zijn daarom niet verder geanalyseerd. Door de behandelingen (Tabel 1) ontstonden er verschillen in rijping van de tweede haak, zodat deze op verschillende data geoogst werden. Dit bemoeilijkte de sensorische beoordeling van de tweede haken. De dikte van de stengel is in principe meetbaar met de Instron, maar omdat een stengelstukje nooit helemaal recht is, is deze meting onnauwkeurig. Daarom is de dikte alleen de eerste keer bij de hoofdtakken met de Instron gemeten. Bij de tweede inzet is de dikte met de schuifmaat gemeten en daarna ingevoerd in de Instron-file. Bij de metingen aan 56 rassen werd dezelfde procedure gevolgd. De metingen aan de takken uit de temperatuurproef zijn alle uitgevoerd met de onderplaat waarbij de spanwijdte 50 mm is. In vervolgonderzoek is de spanwijdte geoptimaliseerd en op 75 mm gezet. De 56 rassen zijn gemeten met de nieuwe meetopstelling en de nieuwe spanwijdte.

### 3. RESULTATEN (Figuur 1 - 4; Tabel 2 - 7)

#### 3.1 Hoofdtakken uit de temperatuurproef (Figuur 1, Tabel 2)

Zowel bij lage als bij hoge balksnelheid werden er verschillen in Stijfheid gemeten (Figuur 1). Het bleek echter dat het opvoeren van de balksnelheid naar 50 mm/min nauwelijks tot een versnelling van de test leidde. Daarom is bij verdere metingen alleen nog een balksnelheid van 10 mm/min gebruikt.



*Figuur 1* - Het effect van vier behandelingen op de Stijfheid (helling van de kracht/deformatiecurve, N/mm) van de hoofdtakken uit de temperatuurproef (Tabel 1) bij twee balksnelheden.



**Tabel 2 -** Sensorische score van de stevigheid door twee deskundigen, Stijfheid (helling van de curve H (N/mm) bij een balksnelheid van 10 mm/min), Dikte van de steel D (mm), Stijfheidsfactor EI (MNmm<sup>2</sup>) en Elasticiteitsmodulus E (GPa) van de hoofdtak van Freesia's bij vier temperatuurbehandelingen (zie Tabel 1).

behandeling	sensorische STEVIGHEID	H (N/mm)	D (mm)	EI (MNmm <sup>2</sup> )	E (GPa)
1	4.8	5.7	5.5	14.8	0.33
2	4.0	4.5	5.2	11.8	0.36
3	4.3	5.3	5.6	13.8	0.29
4	2.5	3.4	4.6	8.8	0.40
p	NS	**	+	**	NS
LSD 5%		0.8	0.7	2.1	

\*\* =  $p < 0.01$ ; + =  $0.1 < p < 0.05$ ; NS = niet significant.

### 3.2 Tweede haak uit de temperatuurproef (Tabel 3, 4, Figuur 2, 3)

**Tabel 3 -** Sensorische score van de stevigheid door één deskundige, Stijfheid (helling van de curve H (N/mm), bij een balksnelheid van 10 mm/min), Dikte van de steel D (mm), Stijfheidsfactor EI (MNmm<sup>2</sup>) en Elasticiteitsmodulus E (GPa) van de tweede haak van Freesia's bij vier temperatuurbehandelingen (zie Tabel 1).

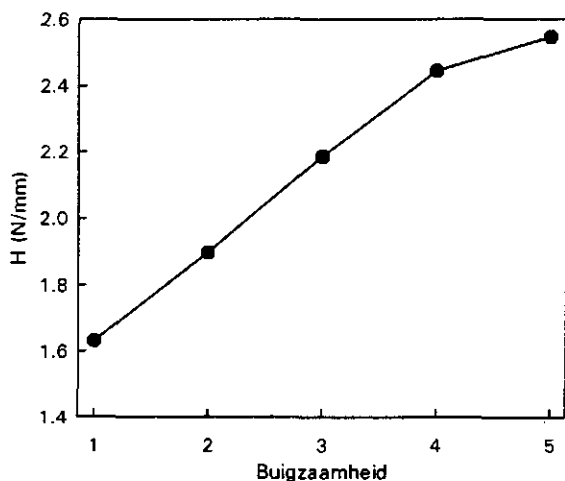
behandeling	sensorische STEVIGHEID	H (N/mm)	D (mm)	EI (MNmm <sup>2</sup> )	E (GPa)
1	3.3	2.5	3.3	6.6	1.19
2	3.0	2.1	3.2	5.5	1.09
3	3.1	2.0	3.2	5.2	1.03
4	2.9	2.1	3.1	5.6	1.15
p	NS	*	NS	+	NS
LSD 5%		0.4		0.9	

\* =  $p < 0.1$ ; + =  $0.1 < p < 0.05$ ; NS = niet significant.

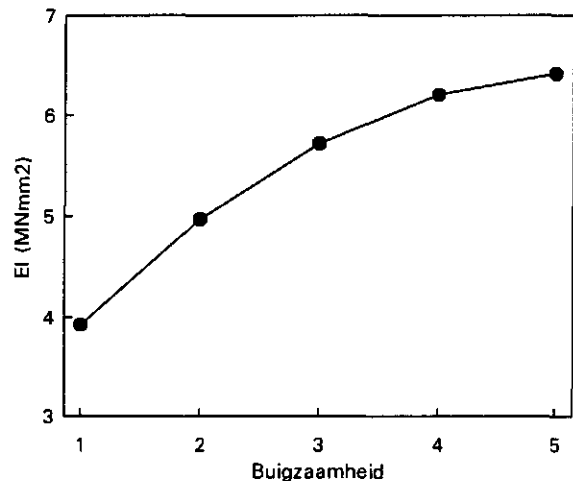
- De tweede haken zijn dunner en buigzamer en dan de hoofdtakken, maar hebben gemiddeld een hogere E.
- Tussen de behandelingen zijn geen significante verschillen in stevigheid en E.
- Behandeling 1 geeft bij de hoofdtakken en de tweede haken een hogere H en EI.
- Behandeling 4 geeft bij de hoofdtakken een lagere D, H en EI.
- De afgebeelde waarden van H, EI en E zijn wellicht iets onderschat, omdat de gebruikte spanwijdte van 50 mm soms te klein is (zie Bijlage 1)

**Tabel 4 -** Stijfheid H (N/mm) en Stijfheidsfactor EI (MNmm<sup>2</sup>) met standaard deviatie per categorie sensorische score stevigheid (1 - 5). Gepoolde data van de 80 afzonderlijk beoordeelde tweede haken uit de temperatuurproef (zie Tabel 1); n = aantal waarnemingen per categorie sensorische stevigheid.

categorie Stevigheid	H (N/mm)	EI (MNmm <sup>2</sup> )	n
1	1.63 ± 0.35	3.92 ± 0.88	2
2	1.90 ± 0.36	4.98 ± 1.13	21
3	2.18 ± 0.40	5.73 ± 1.21	32
4	2.44 ± 0.37	6.22 ± 1.07	21
5	2.55 ± 0.42	6.43 ± 1.68	4



**Figuur 2 -** De gemiddelde Stijfheid H per categorie van sensorische beoordeling stevigheid (tweede haak, temperatuurproef).



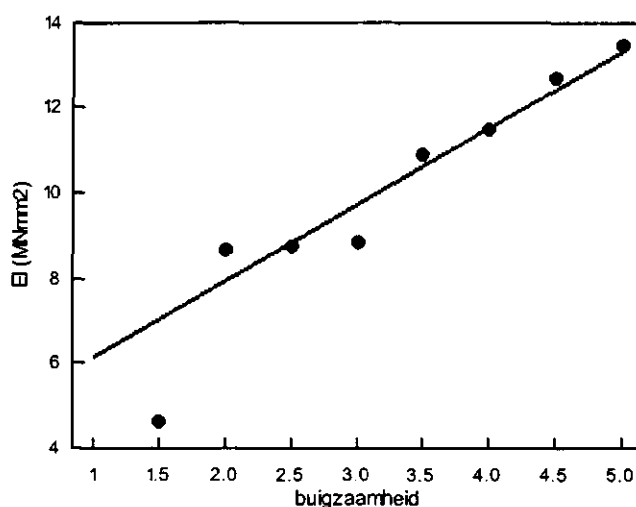
**Figuur 3 -** De gemiddelde Stijfheidsfactor EI per categorie van sensorische beoordeling stevigheid (tweede haak, temperatuurproef).

- Er is een duidelijke relatie tussen de sensorisch bepaalde stevigheid en de instrumenteel gemeten parameters H en EI (Tabel 4, Figuur 2, 3).

### 3.3 Rassen (Tabel 5 - 7, Figuur 4)

Tabel 5 - Stijfheid H (N/mm) en Stijfheidsfactor EI (MNmm<sup>2</sup>) met standaard deviatie per categorie gemiddelde sensorische score stevigheid (1 - 5) gemiddeld van twee waarnemers bij 56 rassen. Gepoolde data van de 164 afzonderlijk beoordeelde hoofdtakken; n = aantal waarnemingen per categorie sensorische stevigheid.

categorie stevigheid	H (N/mm)	EI (MNmm <sup>2</sup> )	n
1.5	0.53 ± 0.09	4.62 ± 0.82	3
2.0	0.98 ± 0.18	8.64 ± 1.54	8
2.5	0.99 ± 0.21	8.74 ± 1.88	27
3.0	1.01 ± 0.25	8.85 ± 2.18	32
3.5	1.24 ± 0.36	10.87 ± 3.16	39
4.0	1.31 ± 0.37	11.49 ± 3.23	26
4.5	1.44 ± 0.31	12.69 ± 2.77	22
5.0	1.53 ± 0.21	13.46 ± 1.83	7



Figuur 4 - De gemiddelde stijfheidsfactor EI per categorie van sensorische beoordeling stevigheid van 164 takken van 56 rassen ( $r^2 = 0.94$ ). Omdat de categorie 1.5 maar 3 x is gescoord zijn deze gegevens buiten de regressie-analyse gehouden.

- Er is een hoge correlatie tussen de sensorische stevigheid en de stijfheidsfactor EI (Figuur 4).
- Met de nieuwe meetopstelling en de geoptimaliseerde spanwijdte is er een lineair verband tussen de stijfheid H en de stijfheidsfactor EI (data niet afgebeeld)
- Er zijn grote rasverschillen in de stijfheidsfactor EI (Tabel 6).

Tabel 6 - Objectieve en sensorische meting van stevigheid van Freesia stengels van 56 rassen van 6 herkomsten, gemeten op 31 maart 1998. Diameter van de stengel D (mm), stijfheidsfactor EI (MNmm<sup>2</sup>), sensorische score stevigheid SS en opmerkingen. 1 = zeer buigzaam en 5 = zeer stug. GO = afkomstig van het PBG.

rasnr	bedrijf	kleur	D (mm)	EI (MNmm <sup>2</sup> )	SS	opmerkingen
53	GO	rood	4.7	18.2	3.7	
51	D	roze	4.0	17.6	3.7	
52	D	geel	4.6	16.9	4.8	
53	D	rood	4.3	15.8	4.0	
5	A	wit	4.0	14.9	4.8	1 tak geknakt
11	C	wit	4.1	14.7	3.3	
44	GO	geel	4.3	14.2	3.8	
41	B	wit	4.3	13.8	4.8	
43	D	roze	4.4	13.3	4.0	
21	D	geel	4.3	12.9	4.5	
4	C	roze	3.6	12.7	3.5	
12	B	blauw	3.7	12.6	3.3	1 tak geknakt
3	E	geel	4.0	12.4	3.5	
49	B	geel	4.0	12.4	3.8	
19	E	geel	4.4	12.1	3.7	
31	E	wit	3.5	11.9	4.3	
29	GO	wit	3.9	11.6	4.5	
35	A	roze	4.2	11.5	3.8	
39	E	rood	3.6	11.5	2.8	
25	C	rood	3.6	11.2	3.5	
7	B	geel	3.7	11.2	2.7	2 takken te krom
26	B	paars	3.9	11.2	4.3	1 tak geknakt
8	B	rood	3.9	11.0	3.0	
55	D	wit	3.7	10.6	4.5	
16	B	rood	4.0	10.4	2.5	
17	A	blauw	3.9	10.4	2.7	
44	A	geel	4.1	10.3	2.5	
1	C	geel	3.8	10.3	4.2	
54	D	rood	3.6	10.2	4.2	
32	C	rood	4.0	10.2	3.5	
28	B	geel	4.7	10.1	3.8	1 tak geknakt
10	D	rood	3.9	10.0	3.2	
36	E	wit	3.5	9.9	4.0	
9	A	geel	3.8	9.9	2.3	veel lengtescheuren
29	D	wit	4.0	9.9	2.8	
17	GO	blauw	3.6	9.8	3.2	
23	E	geel	3.4	9.7	3.2	
48	A	wit	4.1	9.4	3.7	
34	D	roze	4.3	9.3	2.5	1 tak geknakt
24	A	geel	3.9	9.3	2.8	
45	C	wit	4.0	9.2	4.3	
14	C	blauw	3.2	9.0	2.8	
20	E	wit	3.5	9.0	3.5	
49	GO	geel	3.9	8.7	3.0	
22	C	paars	3.7	8.7	3.3	
6	E	paars	3.5	8.6	2.3	
40	A	wit	4.0	8.6	3.7	
46	A	geel	3.6	8.5	3.0	
47	E	roze	3.5	8.3	3.2	
37	C	blauw	2.9	8.2	3.0	
13	A	geel	3.7	8.2	2.3	
2	B	rood	3.4	8.1	2.8	
42	E	wit	3.4	8.0	2.8	
27	E	roze	3.4	7.6	2.3	
33	C	geel	3.7	6.2	3.0	
18	B	wit	3.5	5.9	1.8	4 takken te krom
		p	***	***	***	
		LSD 5%	0.3	2.0	1.0	

*Tabel 7* - Objectieve en sensorische meting van stevigheid van Freesia stengels van 6 herkomsten, gemeten op 31 maart 1998. Diameter van de stengel D (mm), stijfheidsfactor EI (MNmm<sup>2</sup>), sensorische score stevigheid SS en opmerkingen. 1 = zeer buigzaam en 5 = zeer stug. GO = afkomstig van het gebruikswaardeonderzoek PBG.

bedrijf	D (mm)	EI (MNmm <sup>2</sup> )	SS
A	3.9	10.1	3.2
B	3.9	10.7	3.3
C	3.7	10.0	3.5
D	4.1	12.6	3.8
E	3.6	9.9	3.2
GO	4.1	12.5	3.6

- Tussen de bedrijven zijn er verschillen in stijfheidsfactor EI. Deze verschillen kunnen veroorzaakt zijn door de teeltwijze, het klimaat, maar ook door de geteelde rassen.
- Tussen de kleuren waren geen duidelijke verschillen opgetreden (data niet afgebeeld).

## 4. DISCUSSIE

Met de objectieve meetmethode konden verschillen tussen de behandelingen in EI van de hoofdtakken worden vastgesteld. EI, de stijfheidsfactor, is de weerstand tegen vervorming van de steel. Zo kon in de temperatuurproef objectief worden vastgesteld dat behandeling 4 slappere hoofdtakken geeft. Hoewel er vooraf ook verschillen in sensorische stevigheid waren opgemerkt tussen de behandelingen, waren de hier gemeten verschillen niet significant. Het lijkt echter waarschijnlijk dat deze bij deelname van meer experts wel aangetoond zouden kunnen worden. De gegevens uit individuele beoordeling van stelen tonen een duidelijk verband tussen de sensorische beoordeling stevigheid en de instrumentele parameters H en EI.

De elasticiteitsmodulus E is geen eigenschap van de steel, maar een anatomische parameter of materiaalconstante van het weefsel (Speck, 1994; Speck *et al.*, 1997). Het oppervlakte moment I (zie Bijlage 1) daarentegen, is een morfologische parameter die bepaald wordt door de vorm van de steel (Niklas, 1992). Het is interessant dat de E gemiddeld hoger is bij de tweede haken, die vergeleken met de hoofdtakken slapper zijn en een lagere EI hebben. Kennelijk probeert de plant deze haken toch nog zo stevig mogelijk te maken door de E te verhogen.

De minimale monstergrootte voor de objectieve metingen is waarschijnlijk tien takken per behandeling. Als de takken afzonderlijk worden beoordeeld op stevigheid, moeten de bossen onafhankelijk van de oogst worden geward, liefst met twee dummy bossen er bij.

Met de eerst gebruikte meetopstelling kon de stijfheidsfactor EI worden berekend, maar omdat de spanwijdte met 50 mm nog niet voor alle stengels optimaal was, zijn de hiermee gemeten waarden van H en EI iets onderschat. Met de nieuwe meetopstelling (Instron methode 88, met S = 75 mm, Bijlage 4) kunnen deze parameters echter goed en snel worden bepaald (Tabel 5, 6; Figuur 4). Het blijkt dat er aanzienlijke rasverschillen bestaan in stevigheid en EI. Het is nu met deze methode technisch mogelijk geworden om objectieve grenswaarden voor stevigheid te gaan hanteren. De ligging van deze eventueel te hanteren grenswaarde voor stevigheid moet uiteraard in overleg met betrokkenen worden afgesproken.

Het meten van 100 stelen duurt inclusief klaarzetten en verwerking ongeveer 4 uur. De methode is ook toepasbaar voor het meten van stevigheid van de stengel van andere bloemisterijgewassen. Vooraf moet echter wel per gewas de spanwijdte worden geoptimaliseerd.

## 5. CONCLUSIES

- De stijfheidsfactor EI is een goede objectieve maat voor de stevigheid van de steel.
- Met de instrumentele methode kunnen verschillen in stevigheid goed worden gemeten.
- In de temperatuurproef geeft behandeling 4 slappere hoofdtakken en de behandelingen 2, 3 en 4 slappere tweede haken.
- Tussen de rassen bestaan aanzienlijke verschillen in stevigheid en stijfheidsfactor EI.

## LITERATUUR

- Bodig, J. & B. A. Jayne - Mechanics of wood and wood composites. Van Nostrand Reinhold, New York (1982).
- ISO - Determination of flexural properties of rigid plastics, 2nd ed. ISO 178 (1975).
- Jackson, A.P. - Bone, nacre, and other ceramics. In: J.F.V. Vincent (Ed.), *Biomechanics - Materials. A practical approach*, pp. 33 - 56. Oxford University Press (1992).
- Ludolph, G.L. & R.J. Legger - *Sterkteleer*. 473 pp., Wolters, Groningen (1965).
- Niklas, K.J. - *Plant biomechanics*. 607 pp., University of Chicago Press, Chicago (1992).
- PBNA - *Polytechnisch Zakboekje*. PBNA, Arnhem, (1984).
- Roark, R.J. & W.C. Young - *Formulas for stress and strain*, 5th ed. McGraw-Hill, London (1975).
- Speck, T. - Bending stability of plant stems: ontogenetical, ecological and physiological aspects. *Biomimetics* 2: 109 - 128 (1994).
- Speck, T., C. Neinhuis, F. Gallenmüller & N.P. Rowe - Trees and shrubs in the mainly lianescent genus *Aristolochia* s.l.: secondary evolution of the self-supporting growth habit?. In: Jeronimidis G. and Vincent J.F.V. (Eds.). *Plant Biomechanics 1997: Conference Proceedings I*. Centre for Biomimetics, The University of Reading, pp. 201 - 207 (1997).
- Usherwood J.R., A.R. Ennos & D.J. Ball - Mechanical and anatomical adaptations in terrestrial and aquatic buttercups to their respective environments. *J. Exp. Bot* 48: 1469-1475 (1997).
- Verkerke, W. - Ontwikkeling van een objectieve maat voor de buigzaamheid van *Freesia* stengels. Kort onderzoekverslag PBG (7 oktober 1992).
- Vincent, J.F.V. - *Structural biomaterials*. Princeton University Press (1990).
- Vocke, J. & T. Speck - Biomechanical properties of *Cyclamen persicum* Mill. flower stalks. *Plant Biomechanics 1994: Summaries*, CNRS, Montpellier, pp. 187-188 (1994).

## BIJLAGEN

### Bijlage 1 - Theorie en uitvoering van de driepunts-buigtest

Tabel 5 - Begrippen, symbolen, geschatte of ingestelde grootte-orde en bijbehorende eenheden van gemeten en berekende stevigheidsparameters van Freesia stengels

Begrip	symbool	grootte	eenheden
balksnelheid	v	0.5, 10, 50	mm/minuut
dikte stengel	D	3.1 - 5.5	mm
spanwijdte	S	50 - 60	mm
stijfheid	H	2.0 - 5.7	N/mm
straal stengel	$r = 0.5 D$		mm
2e moment oppervlakte doorsnede tak	$I = \pi D^4 / 64$		mm <sup>4</sup>
elasticiteitsmodulus	$E = H S^3 / 48 I$		N/mm <sup>2</sup> of MPa
stijfheidsfactor	$EI = H S^3 / 48$		N.mm <sup>2</sup>
% strain bij eind lineaire stuk	(verplaatsing/D) x 100%		-

**Balksnelheid** - Usherwood *et al.* (1997) gebruikten een balksnelheid van 10 mm/minuut bij stengels van boterbloem; dit wordt ook in de ISO norm (1975) aangegeven. Er ook recepten voor het optimaliseren van de snelheid (Bodig & Jayne, 1982; ISO, 1975). Jackson (1992) adviseert in het algemeen lage snelheden (0.5 mm/ minuut), in elk geval voor een test om de spanwijdte te kiezen.

**Spanwijdte** - De Spanwijdte, de diameter van het gat in de onderplaat, of de afstand tussen de twee buigpunten moet zo worden gekozen dat de ratio S/D groot genoeg is. Als S/D te klein is treedt er bij het meten schuifspanning op (shear) en is de gemeten waarde van H te laag. Hierdoor worden de berekende waarden E en EI onderschat. Door een takje bij verschillende spanwijdte te verbuigen kan worden nagegaan bij welke spanwijdte de E niet meer toeneemt. Tussen de metingen moet ongeveer 10 minuten zitten, om het takje te laten relaxeren. Aan het eind van de test de eerste spanwijdte herhalen om te controleren of de test inderdaad niet-destructief is uitgevoerd. Bereken vervolgens de E voor elke S, en zet E uit tegen de S/D ratio. De goede spanwijdte ligt in het gebied waar de E niet meer toeneemt en de curve gaat afvlakken (Bodig & Jayne, 1982; Jackson, 1992). Als vuistregel geldt dat het takstukje 15 keer langer dan dik moet zijn (ISO, 1975); de S/D ratio is dan dus ongeveer 15. Uit experimenteel werk bij Freesia stengels blijkt dat de optimale S/D ratio inderdaad ongeveer 15 is (data niet afgebeeld). Bij een gemiddelde stengeldikte van 4 mm komt dit neer op een spanwijdte van 75 mm.



**Stijfheid** (engels: stiffness) - De stijfheid wordt door de Instron direct berekend als de helling van de  $F/\delta$  curve in gebied 0.1 - 2.0 mm verplaatsing. Jackson (1992) corrigeert de H ook nog voor de stevigheid van het meetinstrument zelf. Onze H is zijn "apparent stiffness" ( $F/x_{app}$ ). Als dezelfde meting nog eens wordt uitgevoerd met een brok staal, dat kan de  $F/x_{machine}$  bepaald worden, die als het goed is veel groter is dan  $F/x_{app}$ . Met deze twee getallen kan de gecorrigeerde stijfheid  $F/x_{cor}$  worden berekend:

$$F/x_{cor} = F/x_{app} / [1 - ( F/x_{app} / F/x_{machine} ) ] \quad (\text{N/mm})$$

In ons geval geldt natuurlijk:  $F/x_{cor} \approx H$ .

**Elasticiteitsmodulus en stijfheidsfactor** - De Elasticiteitsmodulus (engels: flexural Young's modulus) wordt berekend uit H, S en D (Tabel 5). Er werden echter twee verschillende berekeningen in de literatuur gevonden. Volgens Jackson (1992) geldt:

$$E = 4 H S^3 / 48 r^4$$

$$E = 4 H S^3 / 48 ( 0.5^4 \times D^4 )$$

$$E = 4 H S^3 / 3 D^4$$

Usherwood *et al.* (1997) geven echter een andere formule:

$$E = 4 H S^3 / 3 \pi D^4$$

Beide auteurs gaan weliswaar beide uit van dezelfde formule voor E:

$$E = H S^3 / 48 I \quad (\text{N/mm}^2 \text{ of MPa})$$

maar verschillen in de definitie van I:

Usherwood:

$$I = \pi D^4 / 64$$

$$E = 64 H S^3 / 48 \pi D^4$$

$$E = 0.4246 H S^3 / D^4$$

Jackson:

$$I = r^4 / 4$$

$$I = 0.0156 D^4$$

$$E = H S^3 / 48 \times 0.0156 D^4$$

$$E = 4 H S^3 / 3 D^4$$

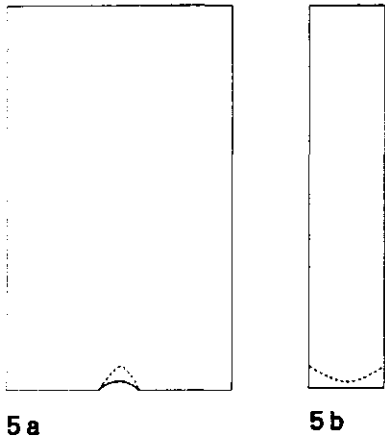
$$E = 1.3333 H S^3 / D^4$$

dus:

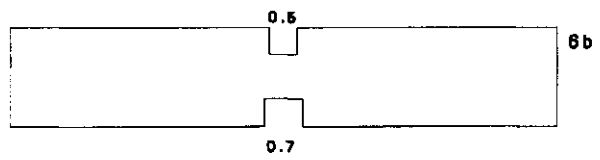
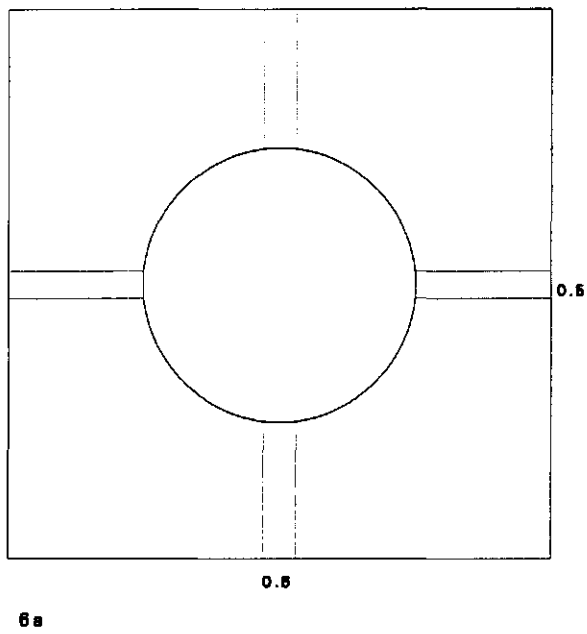
$$E_{Usherwood} \approx \pi \cdot E_{Jackson}$$

De formule van Usherwood *et al.* (1997) komt overeen met die in het Polytechnisch zakboekje (PBNA, 1984) en die van Roark & Young (1975) en wordt daarom ook door ons gebruikt (Tabel 5). E is een eigenschap van het materiaal, die onafhankelijk is van de dikte van de stengel. Door vermenigvuldiging met I (het kwadratisch oppervlakte moment van een cirkelvormige doorsnede t.o.v. de as) ontstaat de stijfheidsfactor EI (Ludolph & Legger, 1965). Dit is de weerstand tegen verbuiging van een object en een objectieve maat voor de stevigheid van Freesia stelen.

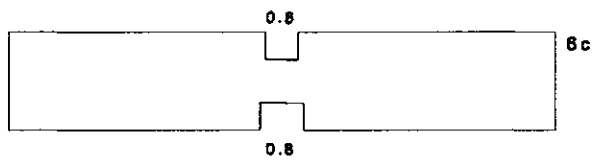
**Bijlage 2 - Plunjer en onderplaat eerste testen (Figuur 5, 6)**



**Figuur 5a - vooraanzicht van de plunjer**  
**Figuur 5b - zijaanzicht van de plunjer**

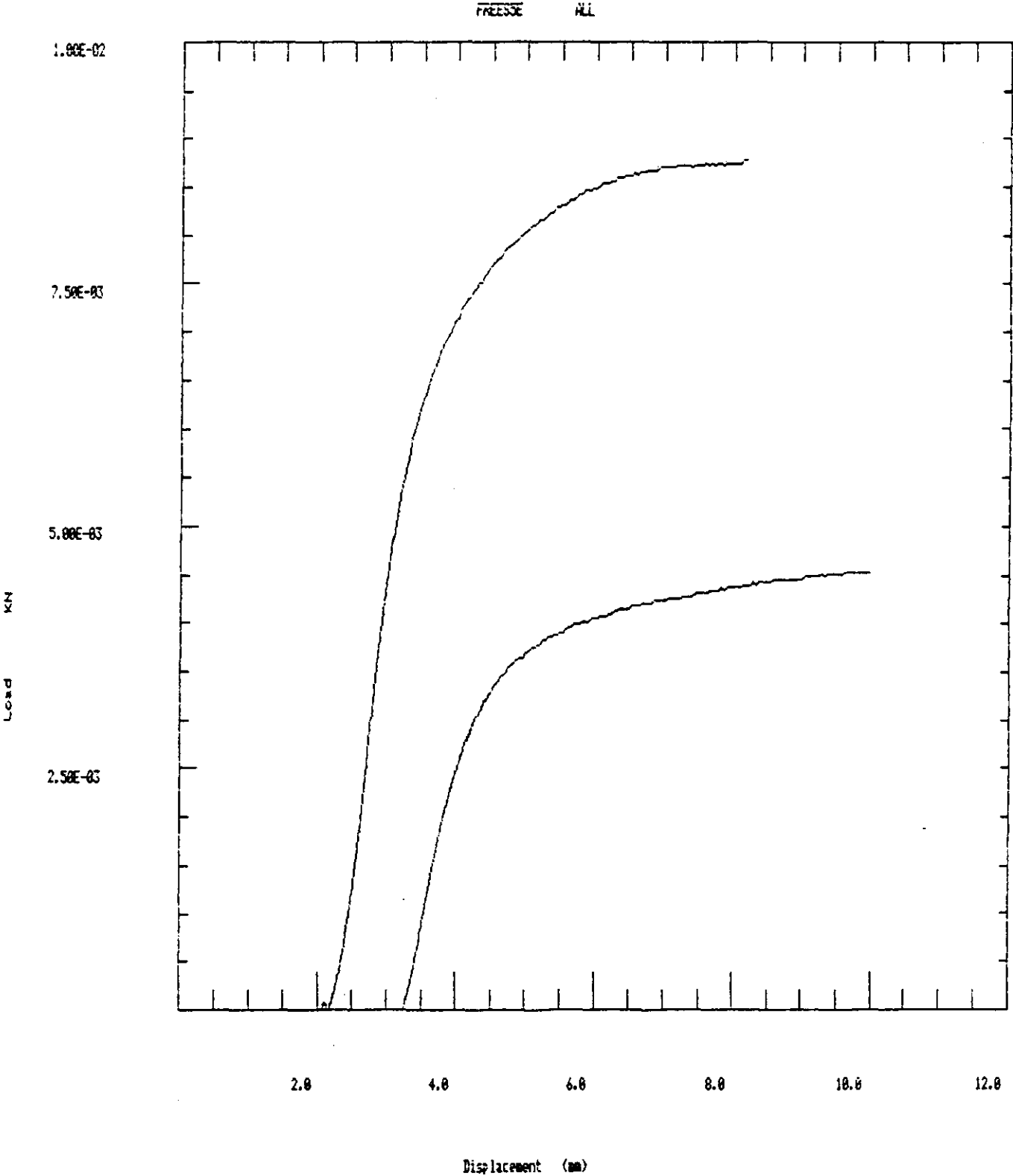


**Figuur 6a - bovenzicht van de onderplaat**  
**Figuur 6b - zijaanzicht van de onderplaat**  
**Figuur 6c - zijaanzicht van de onderplaat kwartslag gedraaid**

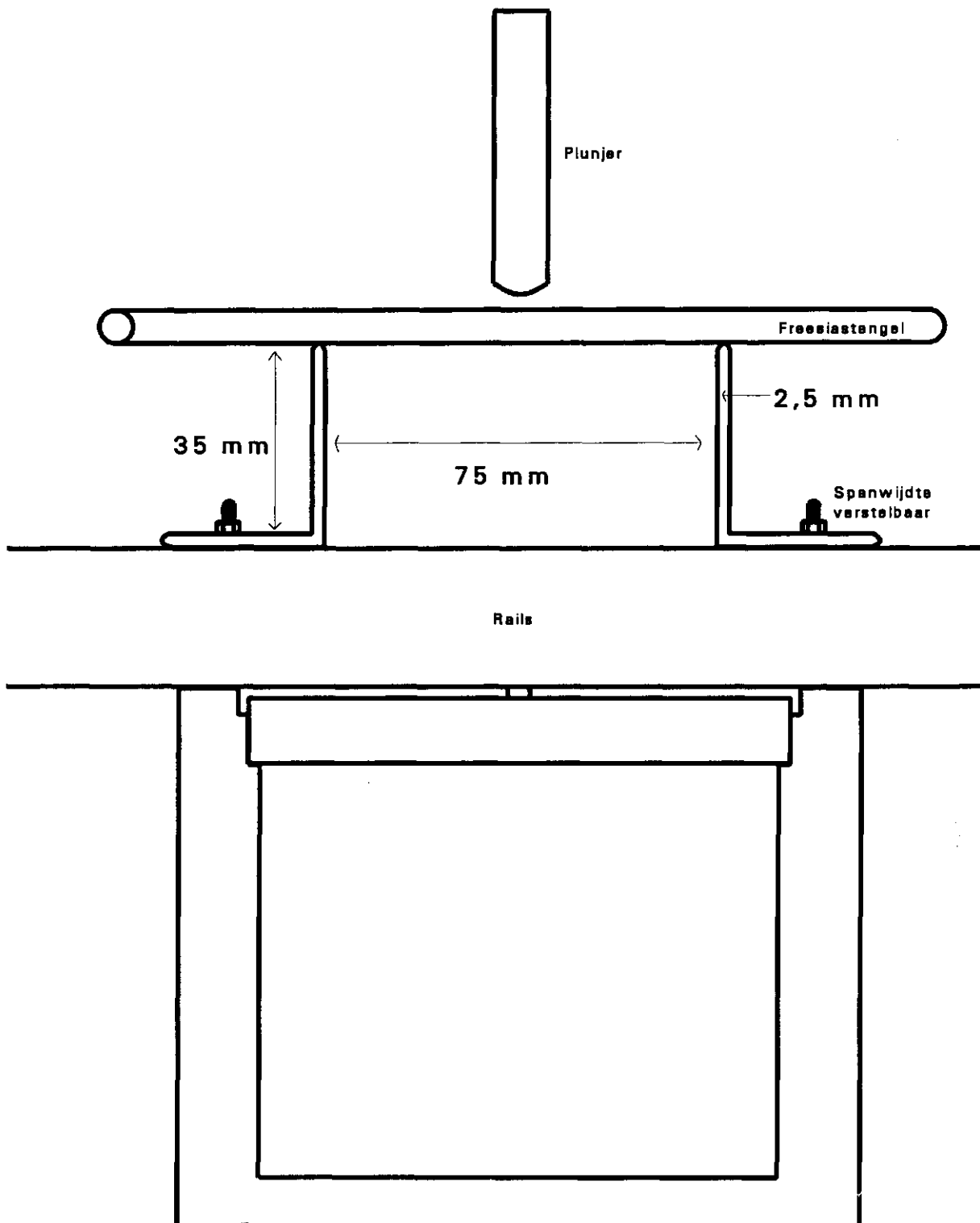


**Bijlage 3 - F/ $\delta$  curve van hoofdtakken van behandeling 1 en 4.**

In deze test zijn de takken iets verder verbogen dan normaal



## Bijlage 4 - Nieuwe meetopstelling



## Bijlage 5 - Overzicht filenamen

m:\pc\aaa\freesia

verslag                frees02.wpd, nieuwpl.wpg, onderpl.wpg, plunjer.wpg

berekeningen        beoord.wk4, freesia.wk4, frees2.wk4, frees4.wk4, freesras.wk4

ruwe data            frees01.asc t/m frees08.asc (hoofdtakken)  
                      frees21.asc t/m frees24.asc, frees31.asc t/m frees38.asc,  
                      frees51.asc t/m frees54.asc (tweede haken)  
                      frees41.asc, frees 71.asc, frees72.asc, frees81.asc, frees8282.asc  
                      (spanwijdte)