

Technische Universiteit Delft  
LABORATORIUM VOOR SCHEEPSCONSTRUCTIES

DRUKPROEVEN

op

MASTEN

van

met KOOLSTOFVEZEL  
GEWAPENDE KUNSTSTOF

en

ALUMINIUM

Ir. B.C. Buisman

in opdracht van de Vakgroep Vezeltechniek

*Project nr. SC 8903  
Rapport nr. SSL 340  
16 december 1991*



## INHOUD

1. Omschrijving opdracht	...	1
2. Beschrijving beproevingsopstelling en instrumentatie	...	2
3. Uitvoering van de proeven	...	3
4. Resultaten	...	3
5. Conclusies	...	4

Bijlage I	Foto's.
Bijlage II	XY-plots van transientrecorder.
Bijlage III	Plots van XY-recorder.



## 1. Omschrijving van de opdracht

In het kader van een onderzoek van de vakgroep Vezeltechniek van de Faculteit der Werktuigbouwkunde en Maritieme Techniek naar de druksterkte van koolstofvezelversterkte kunststof zeilmasten is door het Laboratorium voor Scheepsconstructies een tweetal drukproeven uitgevoerd, één op een aluminium mast en één op een koolstofvezelversterkte kunststof mast, elk ruim 7 meter lang, met een ovale doorsnede.

De drukproeven dienden zodanig te worden uitgevoerd dat de drukvlakken van de beproevingsmachine planparallel zouden bewegen, zodat gedurende een belangrijk deel van de proef een op een inklemming gelijkende situatie van de uiteinden van de mast zou bestaan. Daartoe waren deze uiteinden voorzien van stalen flenzen, welke tegen de eindvlakken van de machine moesten aanliggen.

Gedurende de proef diende de kracht op en de doorbuiging van de mast te worden geregistreerd.

Voor het meten van de vervorming moest elke mast worden voorzien van rekstrookjes.

## 2. Beschrijving van de beproevingsopstelling

### 2.1. Beproevingmachine

De drukproeven hebben plaatsgevonden in de 600-tons trek/druk-bank van het Laboratorium voor Scheepsconstructies.

Deze machine bestaat uit twee langs balken van 20 m en twee zware dwarsstukken (gewicht 20 ton) met een lengte van 5 m, waarvan er één met pennen bevestigd is aan de langs balken en de ander door middel van 4 hydraulische cilinders, met een capaciteit van elk 150 ton, aan iedere zijde in de gewenste zin kan worden bewogen. De machine is uitgerust met 3 onafhankelijke servohydraulische stuur-systemen, nl. voor de beweging van de linker en rechter cilinders en voor de verticale kantelbeweging.

De sturing van de bank kan geschieden op basis van verplaatsing of op basis van kracht, met eventueel een mengvorm (elastische sturing). In het eerste geval worden de verplaatsingen links en rechts gelijk gehouden, in het tweede geval de oliedrukken van beide zijden.

De verplaatsingen worden gemeten met verplaatsingsopnemers aan weerszijden van het bewegende dwarsstuk. De uitgeoefende kracht wordt afgeleid van de oliedrukken in de verschillende cilinders die op 4 plaatsen met drukopnemers worden gemeten.

De te beproeven masten waren aangebracht tussen twee zware drukstukken met een dikte van 160 mm, waarop een ophangstelsel was bevestigd, zie foto 1, bijlage I. Aan één zijde waren tussen de flens aan de mast en het aanlegvlak van het drukstuk 4 krachtopnemers 90° verspringend aangebracht, waarmee de totale belasting en het inklem-moment kon worden gemeten (foto 2).

Op de halve lengte was een verplaatsingsopnemer voor het meten van de zijdelingse verplaatsing aangebracht.

Om wegspringende delen bij eventueel optredende breuk te kunnen opvangen was om de mast een buizenframe aangebracht, afgedekt met dikke doorzichtige kunststof vellen, en waren op regelmatige afstanden touwen gespannen tussen de te beproeven mast en de machine (foto 3).

### 2.2. Meetregistratie

De rekstrookjes werden aangebracht op de halve lengte en aan één zijde op 1/4 van de lengte, aan weerszijde van de mast op de doorsnede met het kleinste traagheidsmoment (foto 4).

De rekstrookjes waren aangesloten op een rekmeetversterker.

De bank werd tijdens de proef bewaakt door de registratie van de uitgeoefende kracht en de bankverplaatsingen op een XYY'-recorder (Kipp BD91).

De 4 krachtsignalen aan één mastuiteinde, de rekstrookmeetsignalen en de doorbuiging werden, samen met de uitgeoefende kracht, geregistreerd met behulp van een transientrecorder (Lab. SC), ingesteld op 7 meetruns per seconde.

De meetopstelling is weergegeven op foto 5.

### 2.3. Onnauwkeurigheden en ijkingen

Bij de voor deze machine gebruikelijke proeven wordt de door de bank uitgeoefende kracht afgeleid van de gemeten oliedrukken in de hydraulische cilinders. Dan moet echter rekening worden gehouden met de in de cilinders en in de geleiding optredende wrijvingskrachten. De uiteindelijke onnauwkeurigheid in de bewerkte resultaten van de krachtmetingen is  $\pm 0,5\%$  vermeerderd met  $\pm 10$  kN.

Deze onnauwkeurigheid is voor de onderhavige proeven te groot, gelet op de te verwachten maximale kracht (100 à 200 kN), zodat de uitgeoefende kracht is bepaald door middel van de 4 krachtopnemers aan één uiteinde van de mast. Deze zijn elk afzonderlijk geijkt op een  $0,25\%$  onnauwkeurigheid bij 100 kN.

De onnauwkeurigheid van de rekmeetversterkers is gering ( $0,1\%$ ) vergeleken met de onnauwkeurigheid van de rekstrookjes zelve (1 tot  $5\%$ ).

De onnauwkeurigheid van de uitbuigingsmeting (met een slag van 600 mm) was ongeveer 2 mm.

### 3. Uitvoering van de proeven

De positie van de te beproeven mast t.o.v. het hart van de beproevingsmachine werd vóór elke proef gecontroleerd met behulp van een theodoliet.

De masten zijn beproefd met een constante verplaatsingssnelheid van  $0,1$  mm/s tot een tevoren ingestelde eindwaarde. Bij de aluminium mast volgde na een korte pauze een verdere, gestuurde, indrukking tot knik. Bij de kunststof mast werd een aantal keren de verplaatsing teruggebracht tot nul. Bij de derde keer werd gedurende lange tijd de verplaatsing constant gehouden op een hoog belastingniveau om te zien of er krachtrelaxatie optrad. Pas bij de vijfde keer werd tot knik gedrukt (foto 6).

### 4. Resultaten

De XY-plots van de registraties door de transientrecorder zijn opgenomen in bijlage II.

In bijlage III zijn de plots opgenomen van de met de XY-recorder gemeten bankverplaatsing versus de via de oliedrukken gemeten bankkracht. Duidelijk is de door de bankwrijving veroorzaakte hysteresis te zien.

## 5. Conclusies

Tot aan nagenoeg het einde van elke proef voldeed de aanligging van de flensuiteinden tegen de drukstukken aan de inklemmingsconditie.

De grafische presentatie van de krachten, momenten en rekken laat duidelijk het moment van optredende knik zien.

De meting van de dwarsuitbuiging is onvoldoende nauwkeurig, grotendeels tengevolge van het grote meetbereik.



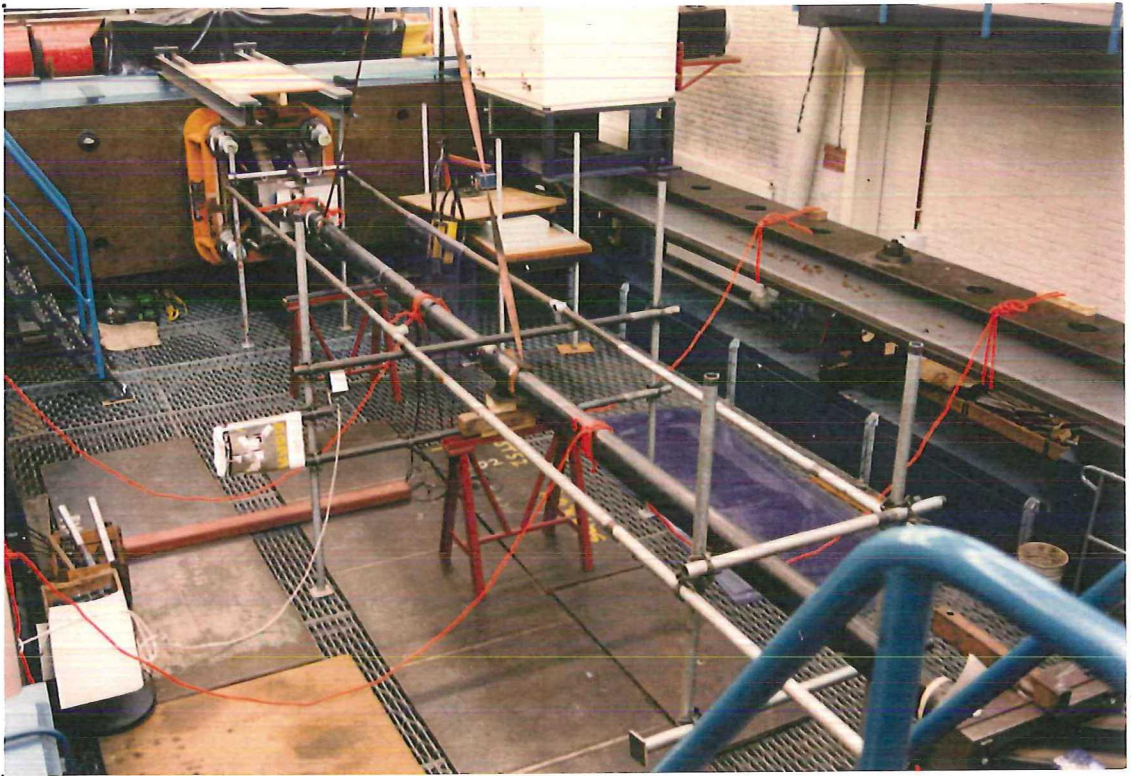


Foto 1

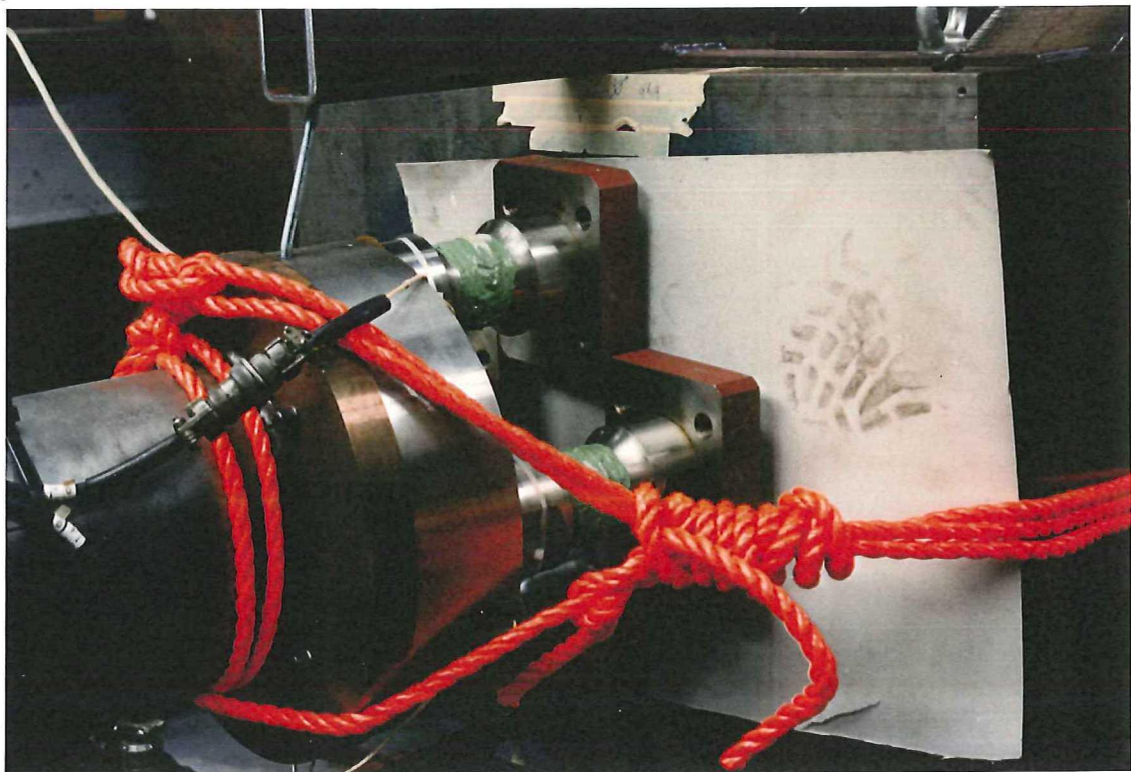


Foto 2



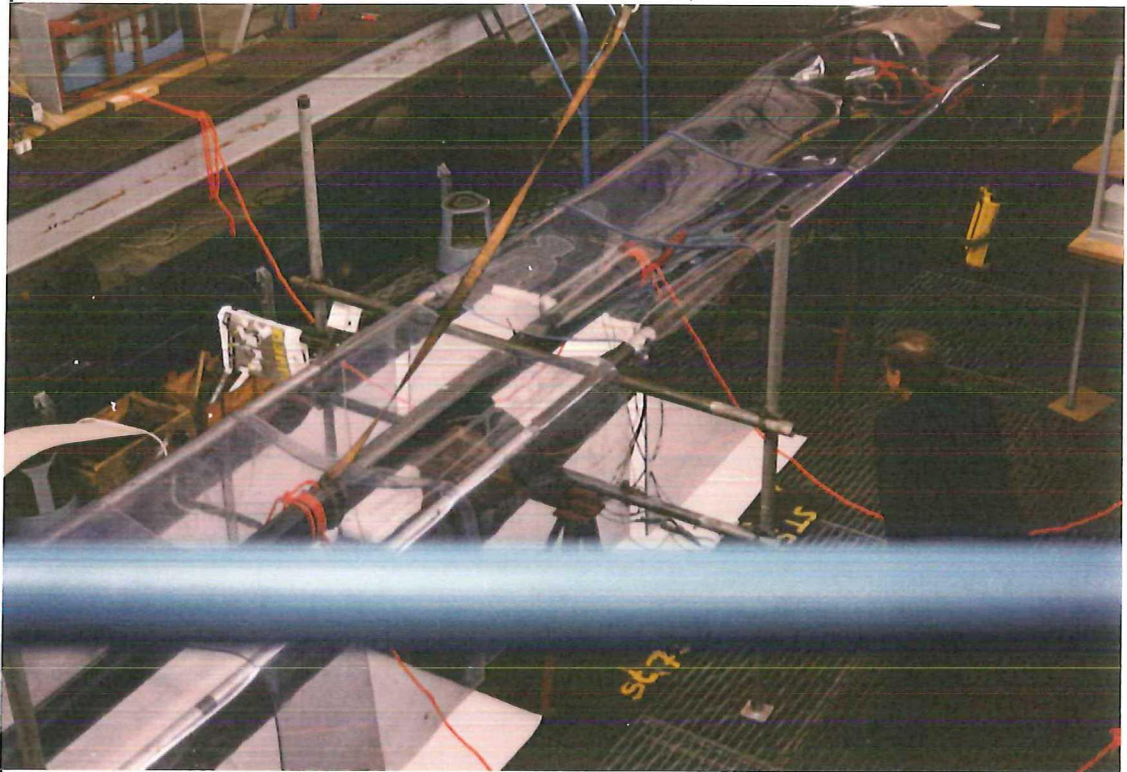


Foto 3

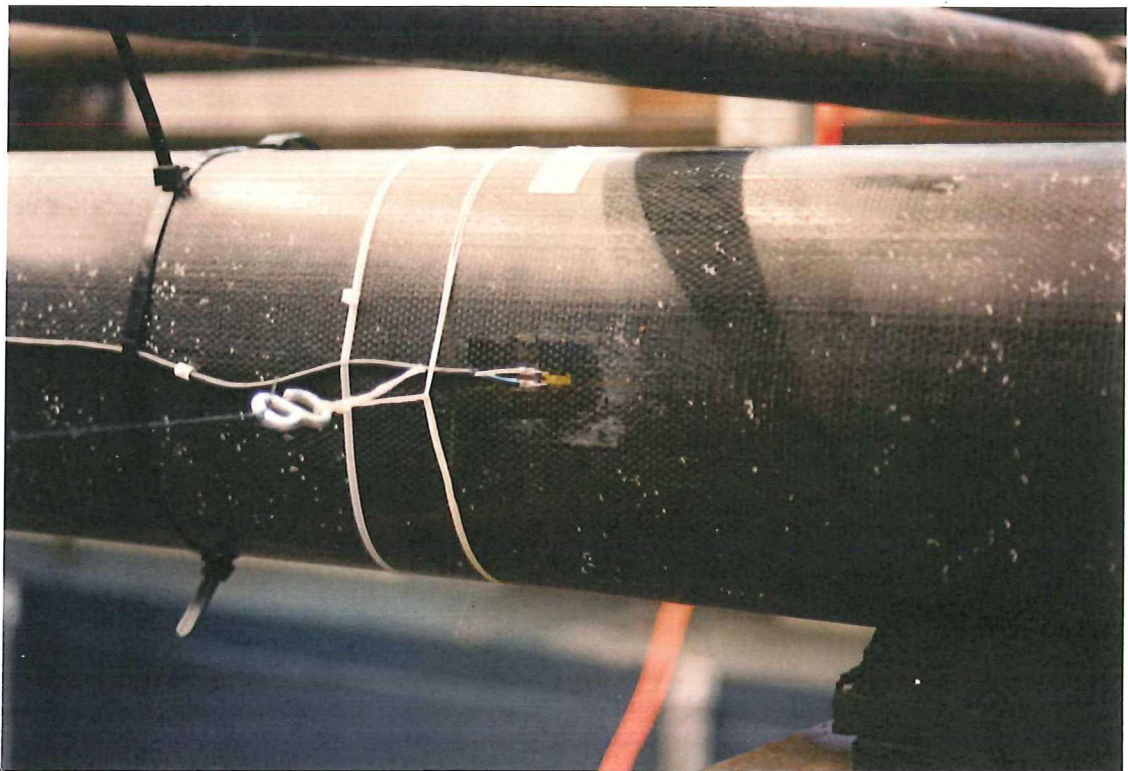


Foto 4



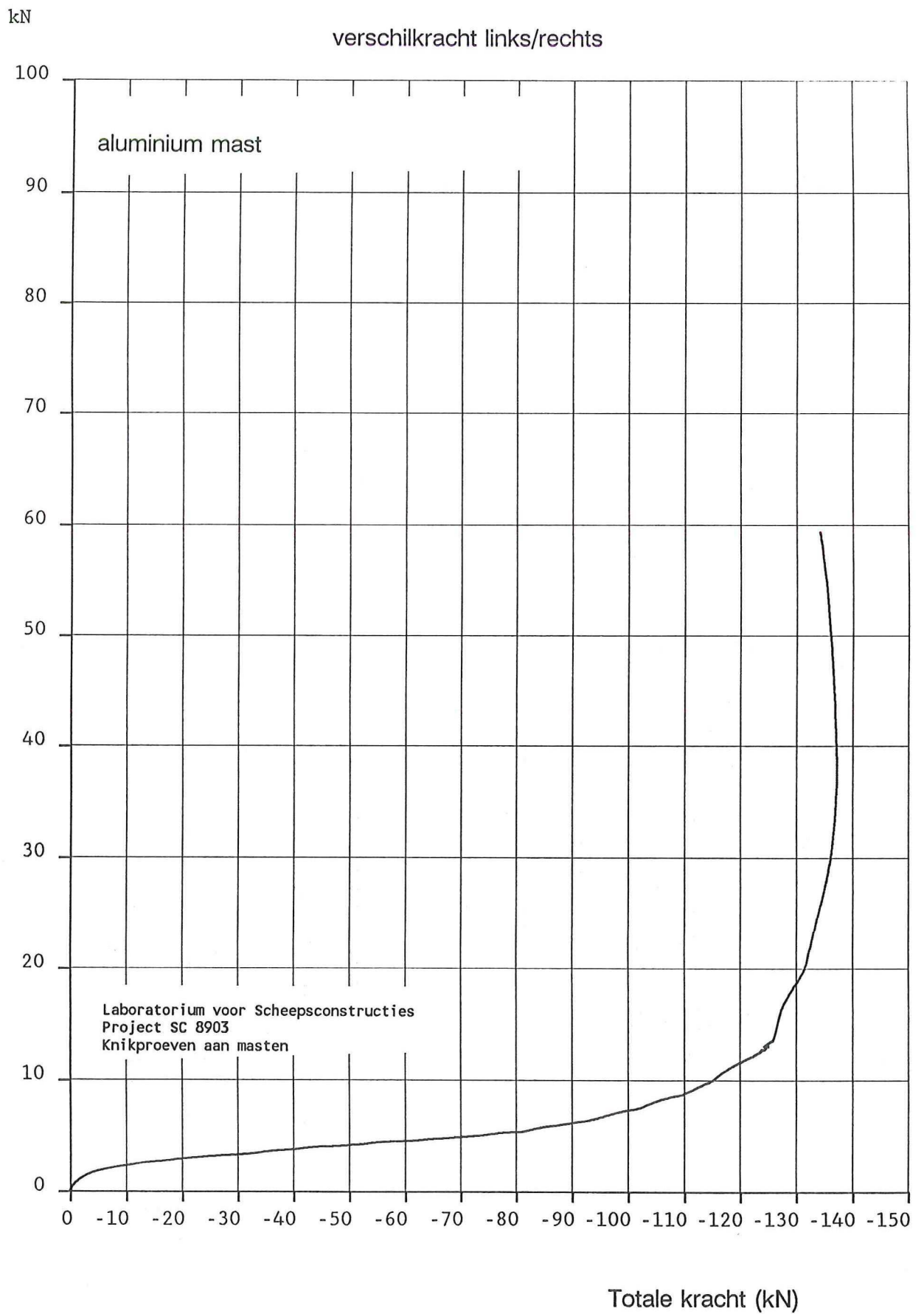


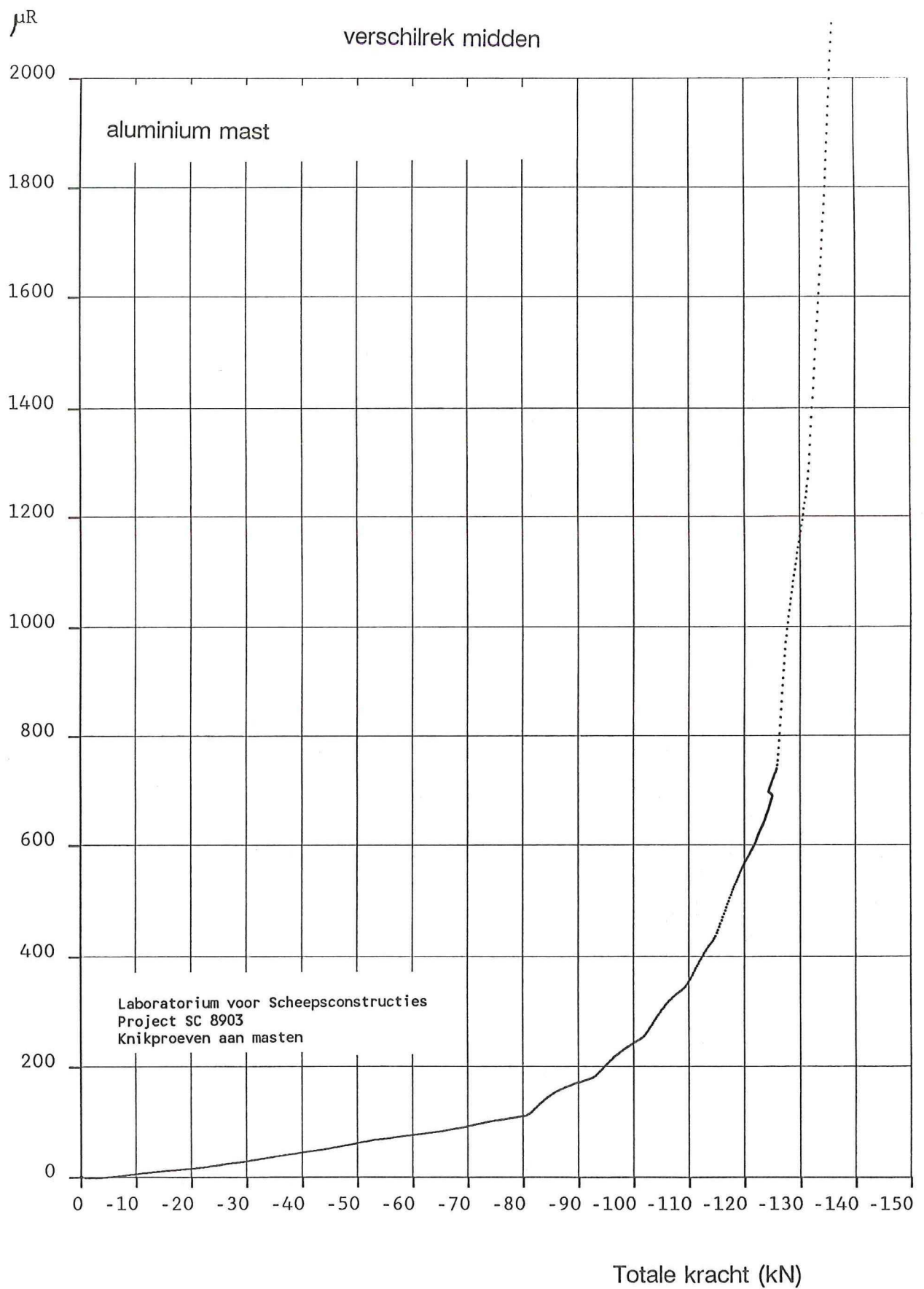
Foto 5



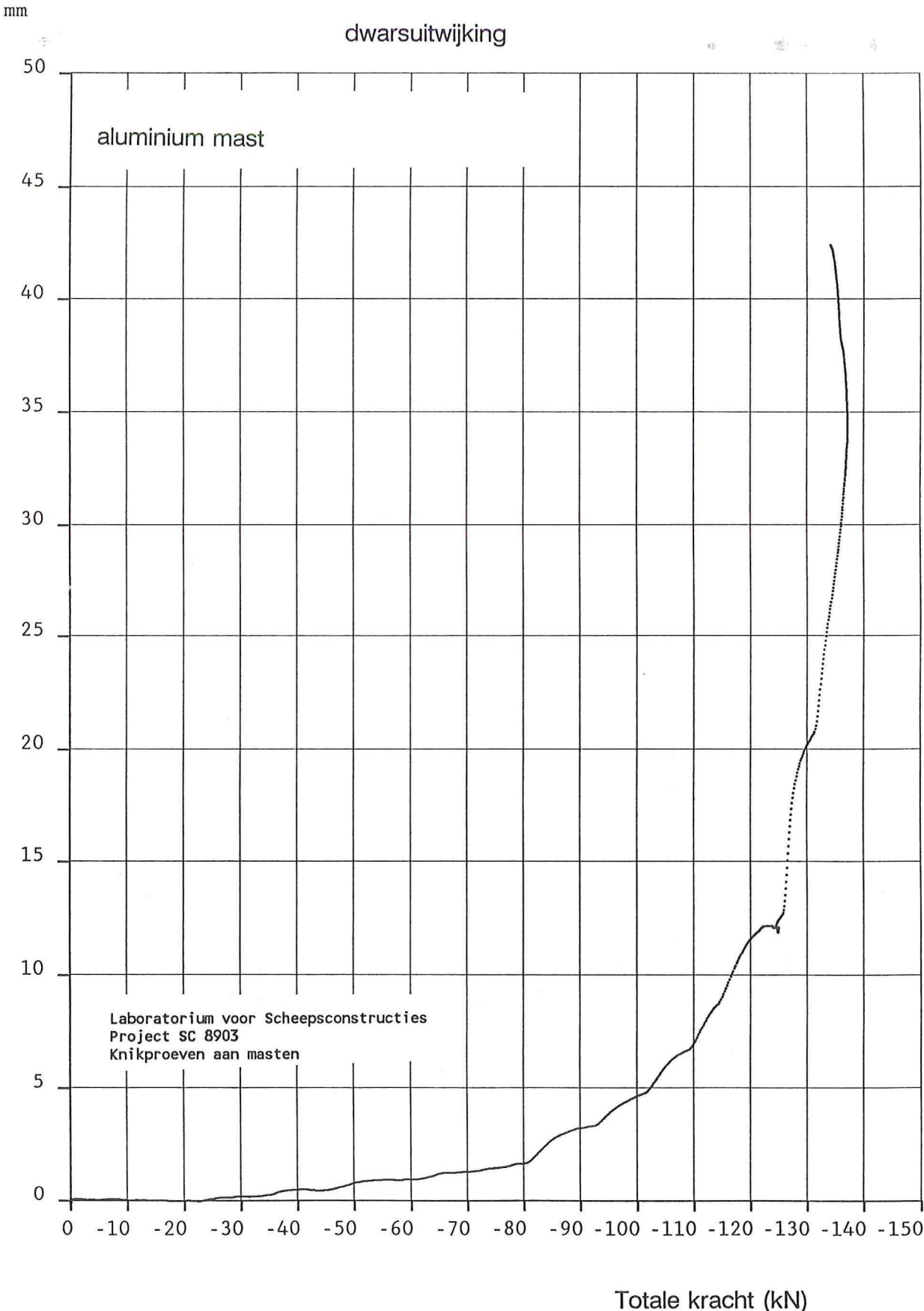
Foto 6

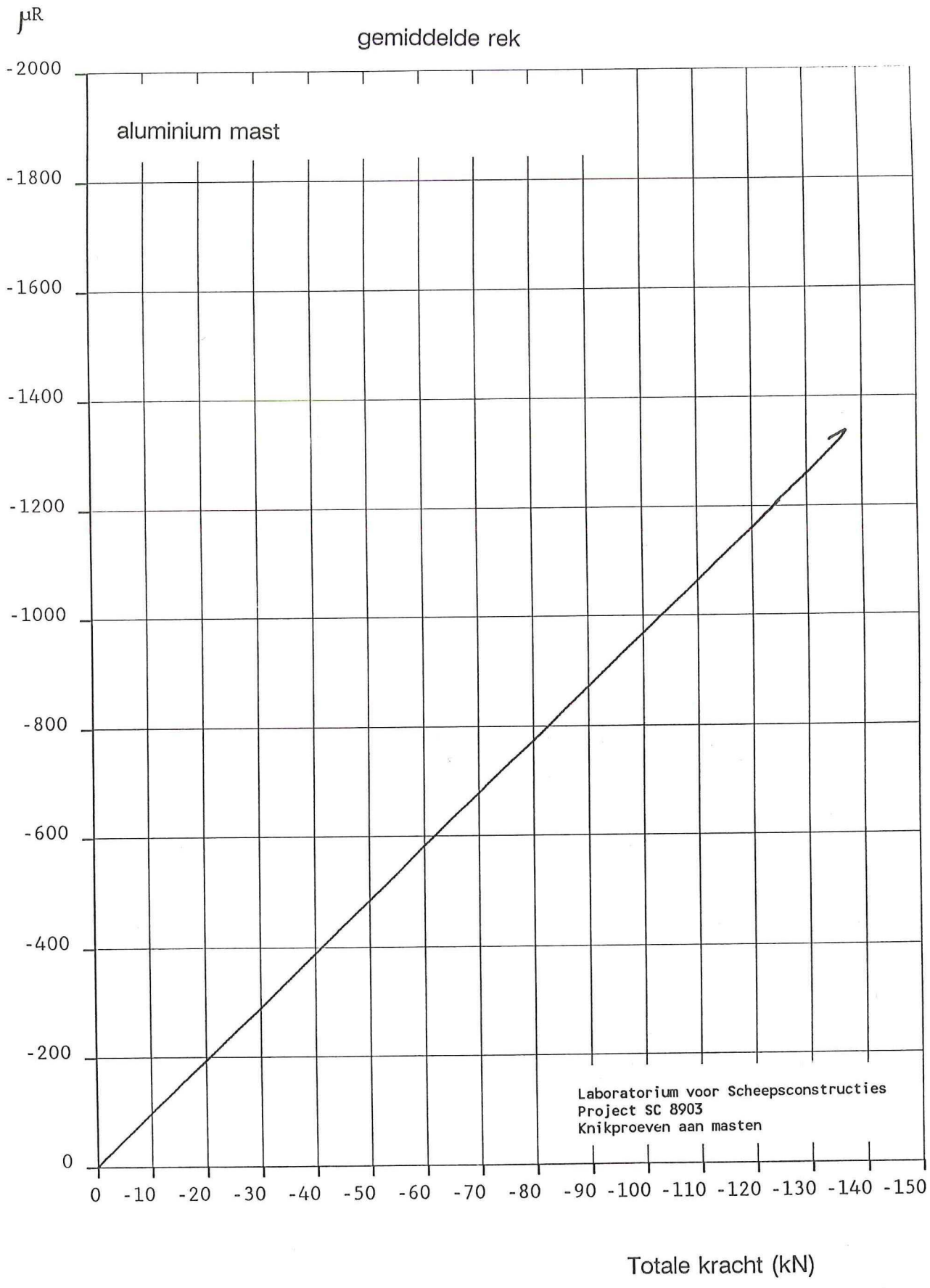


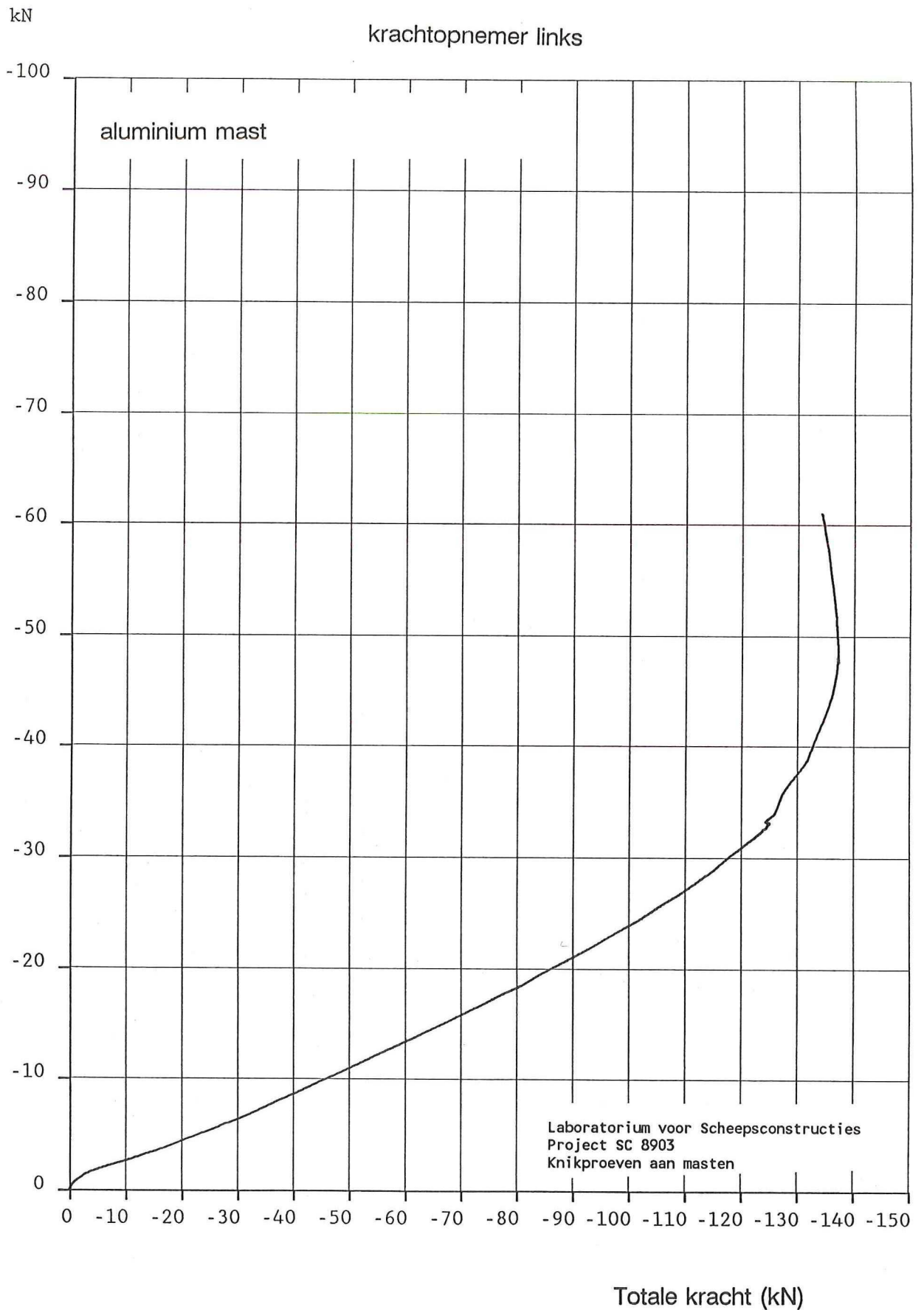


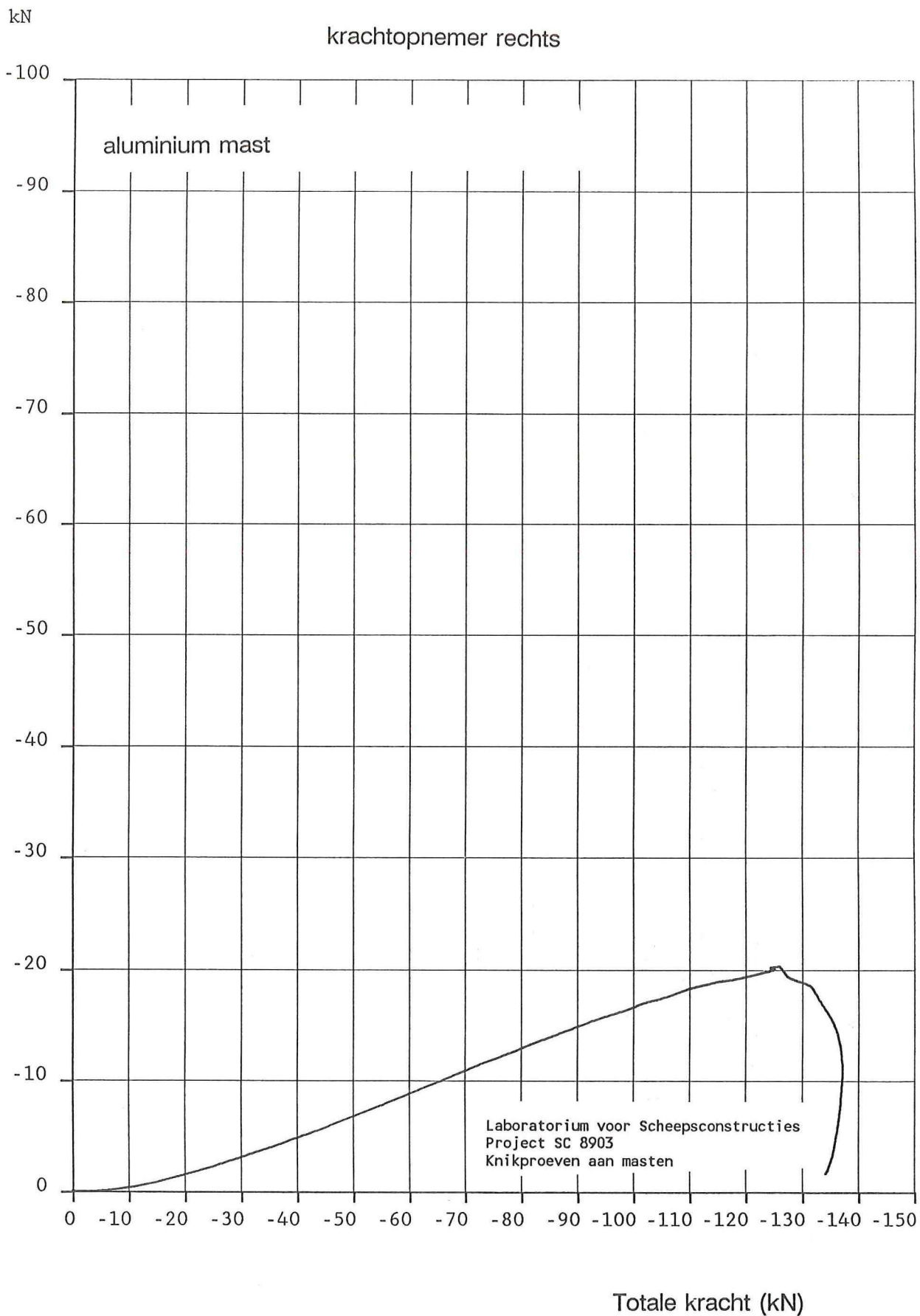


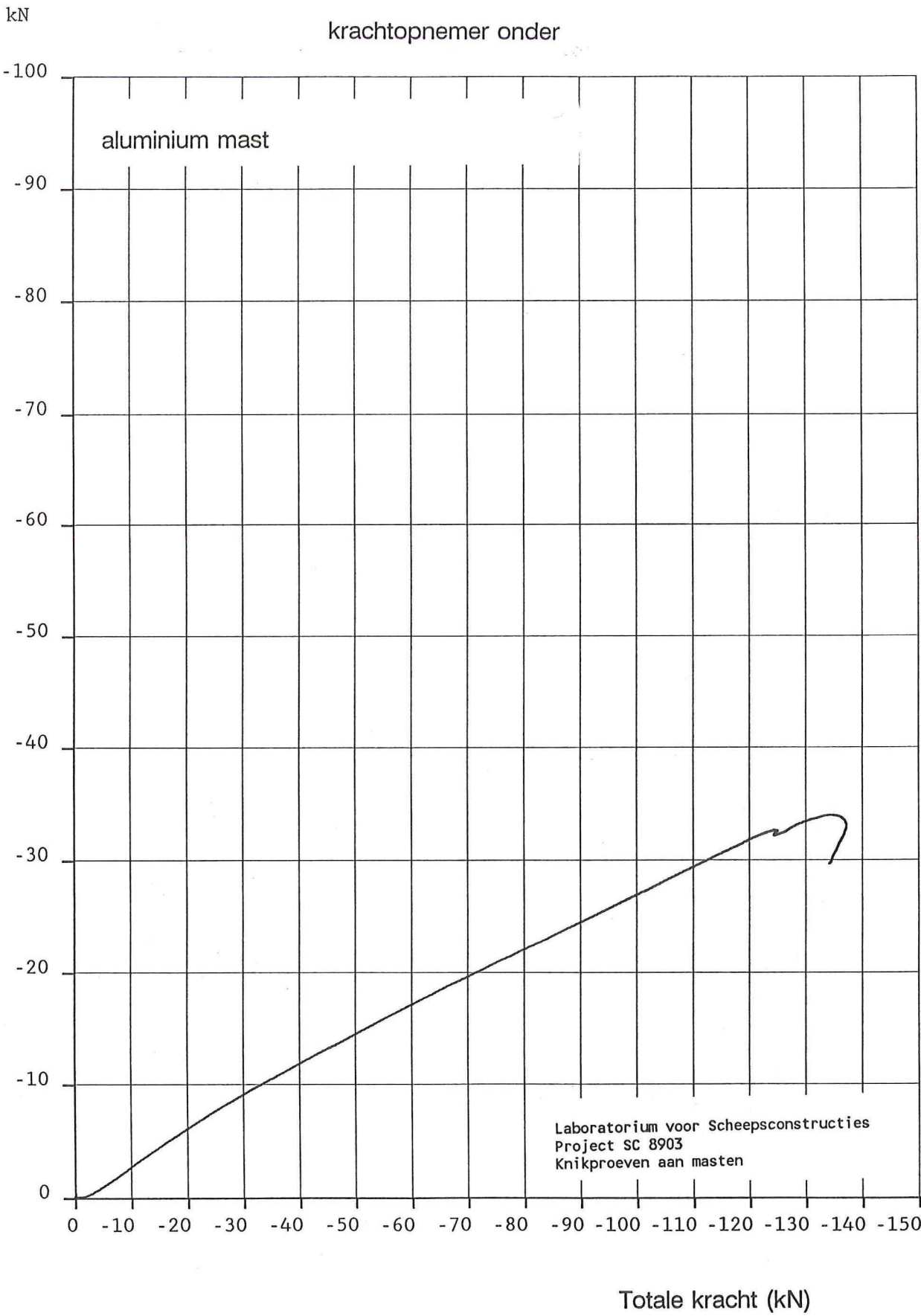


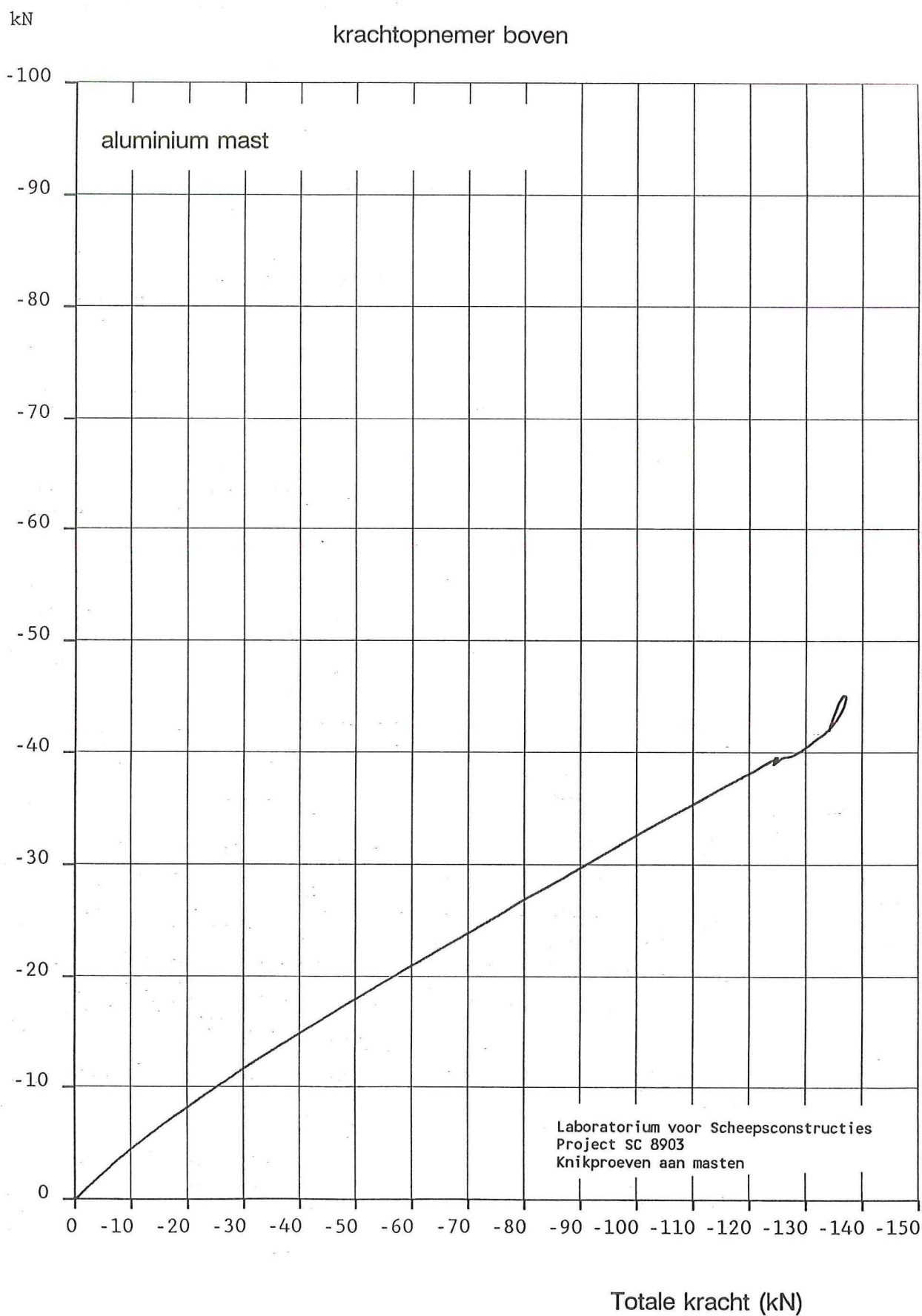


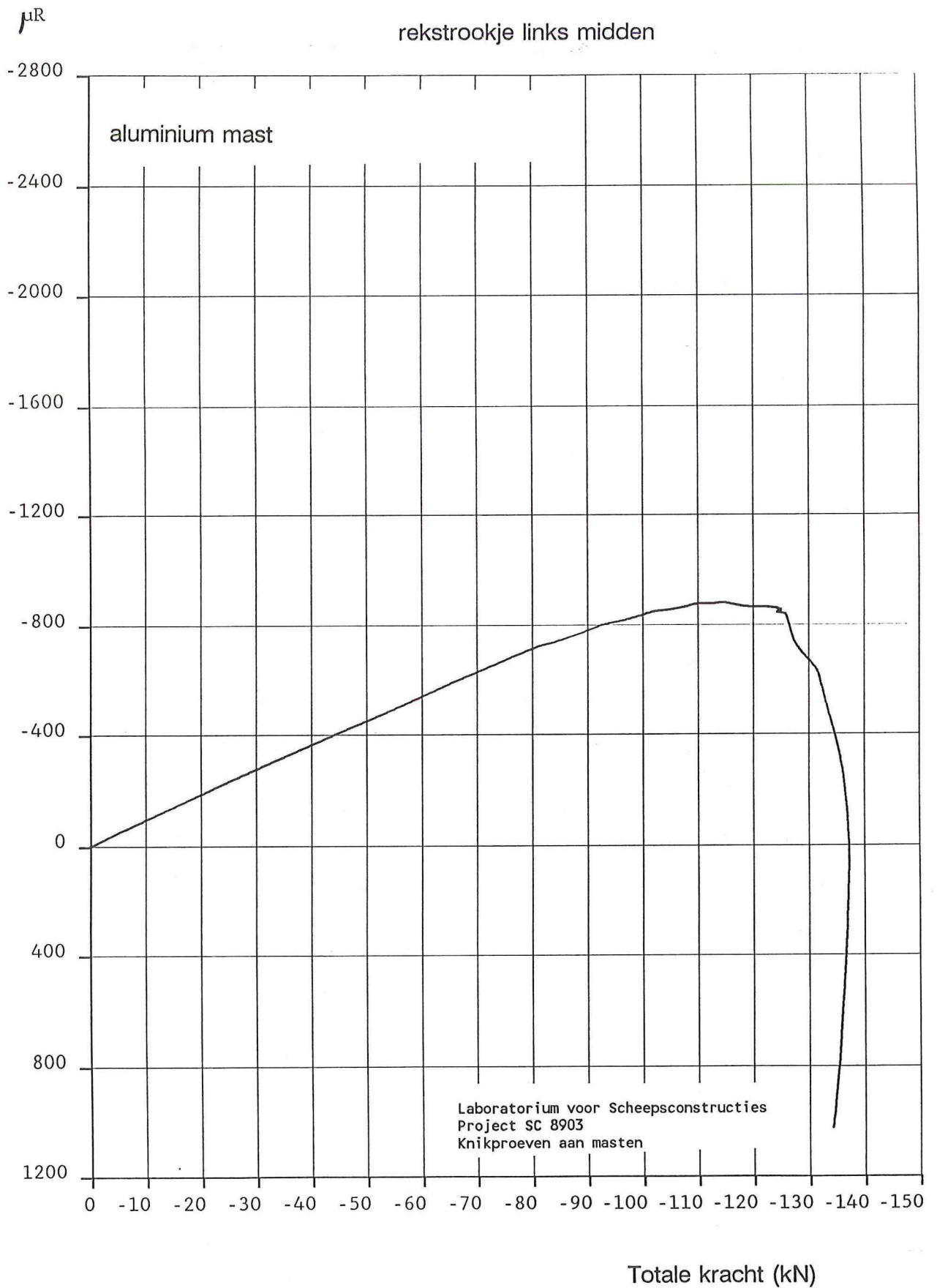


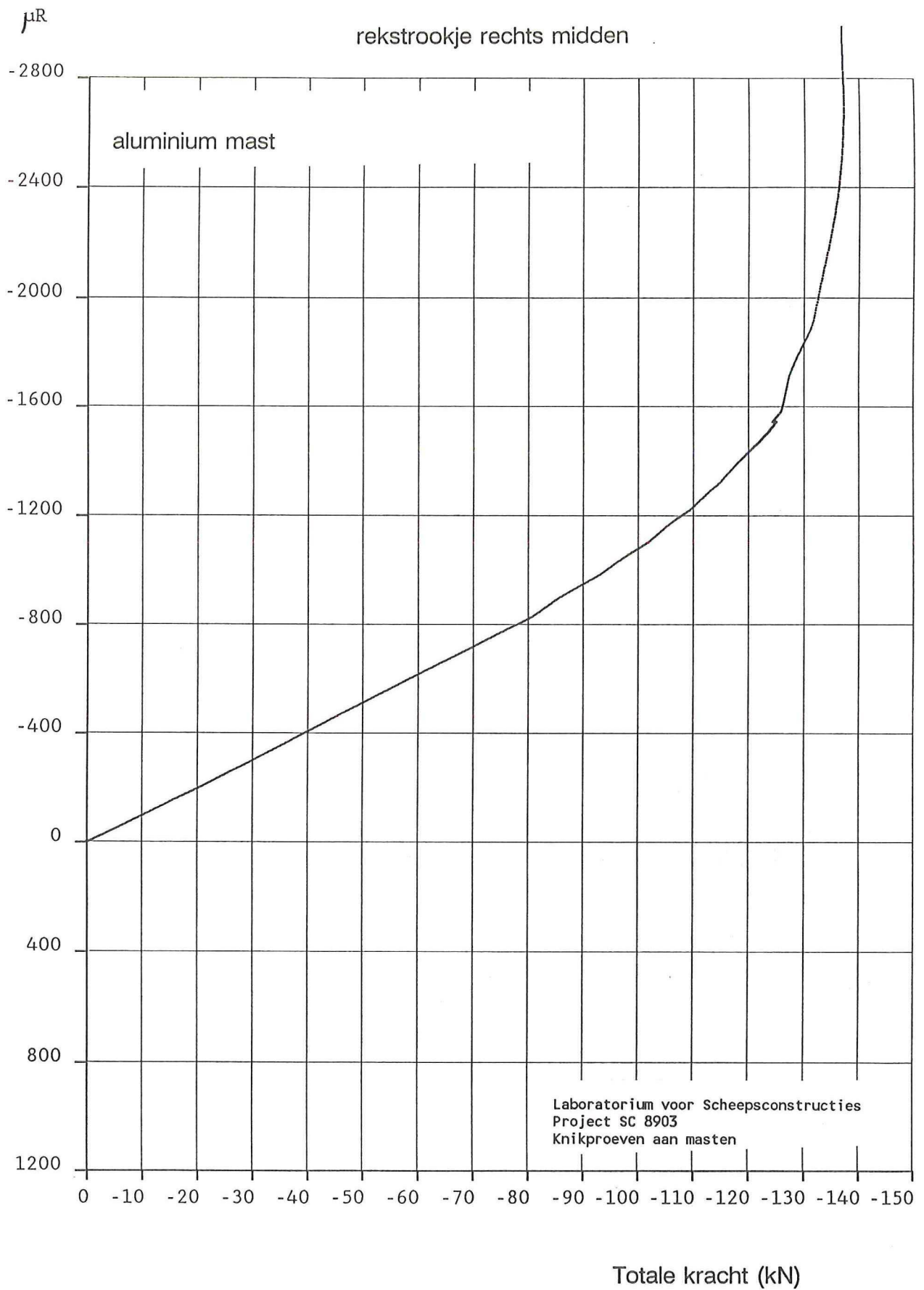




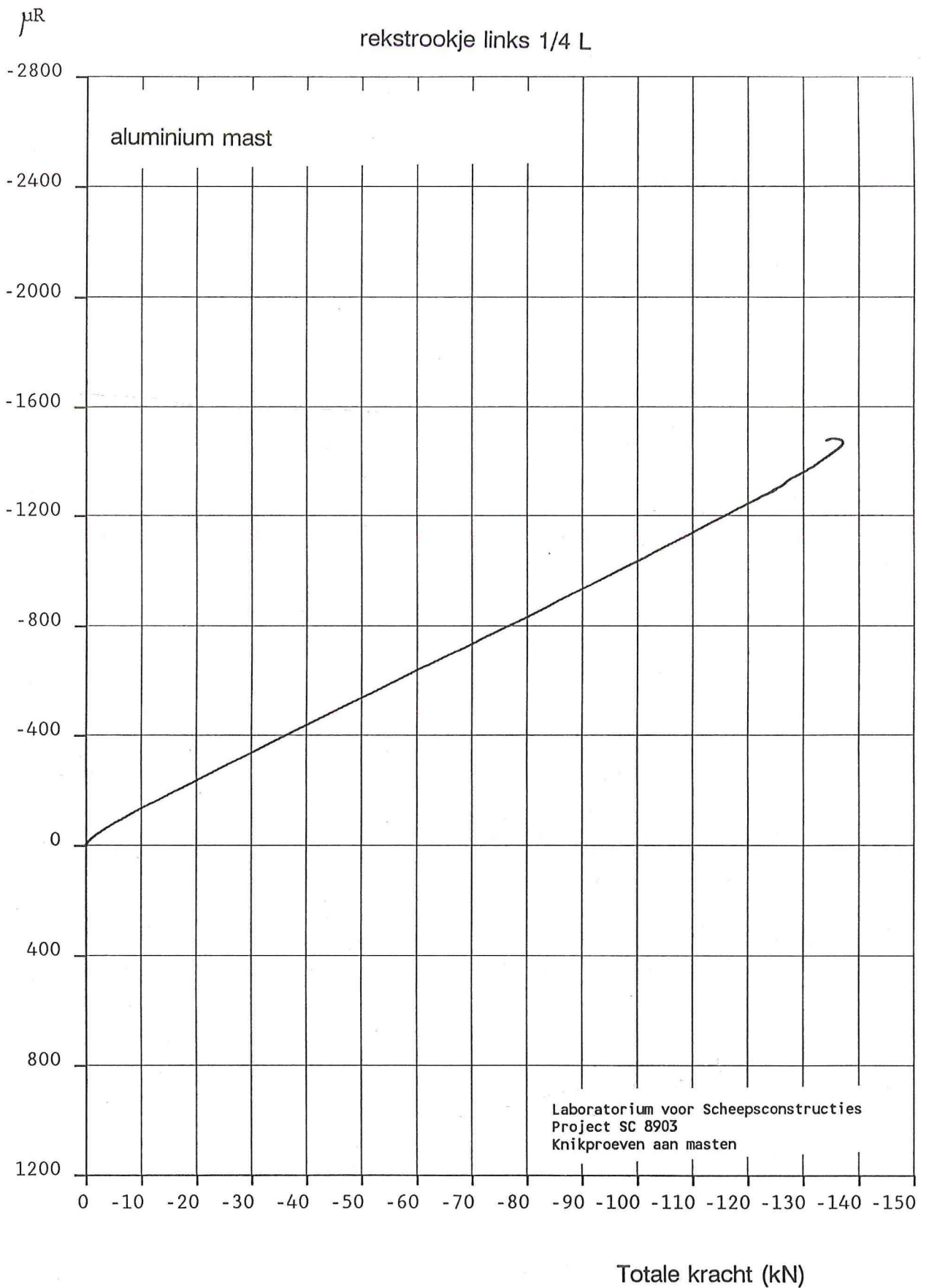


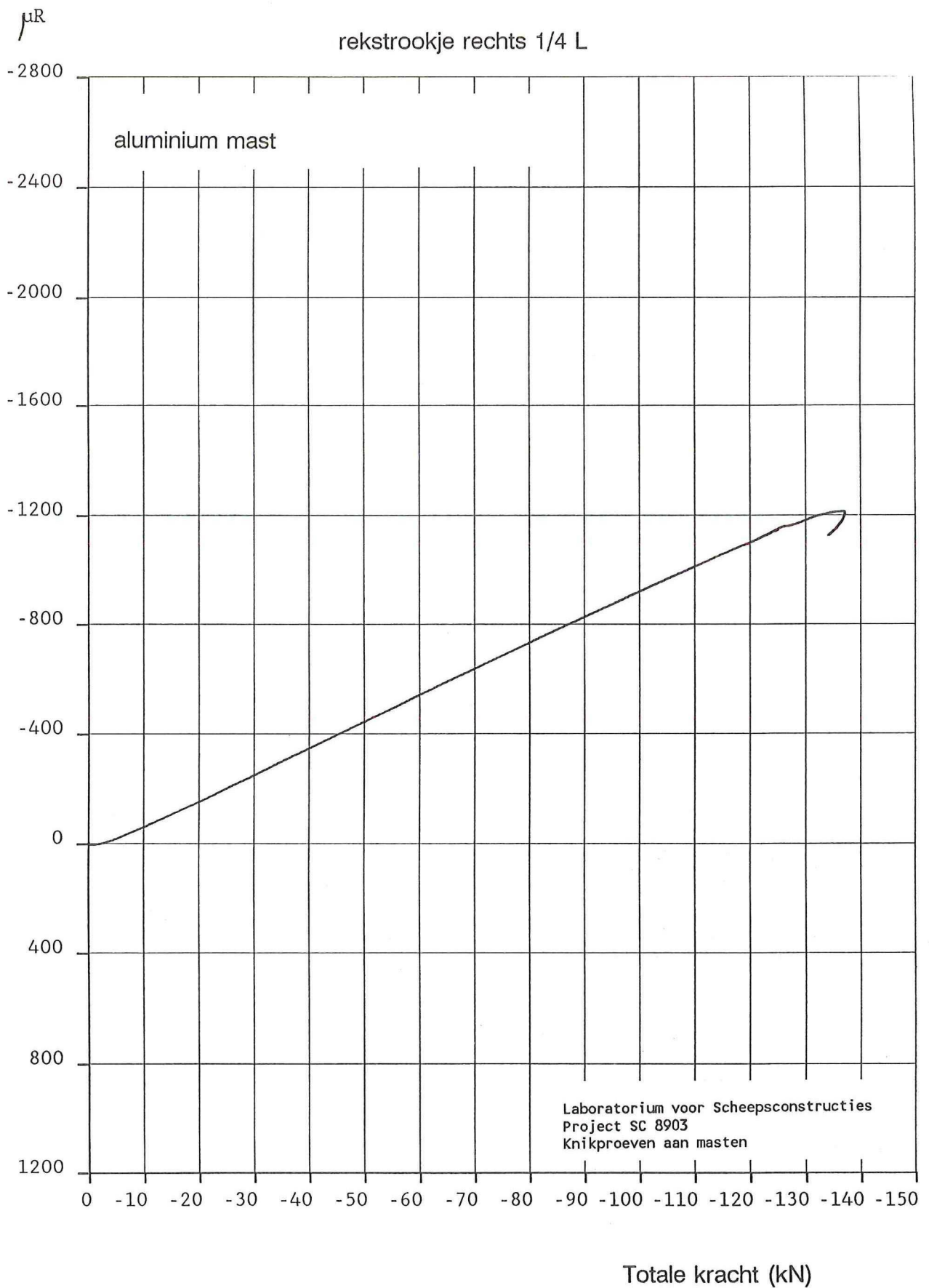


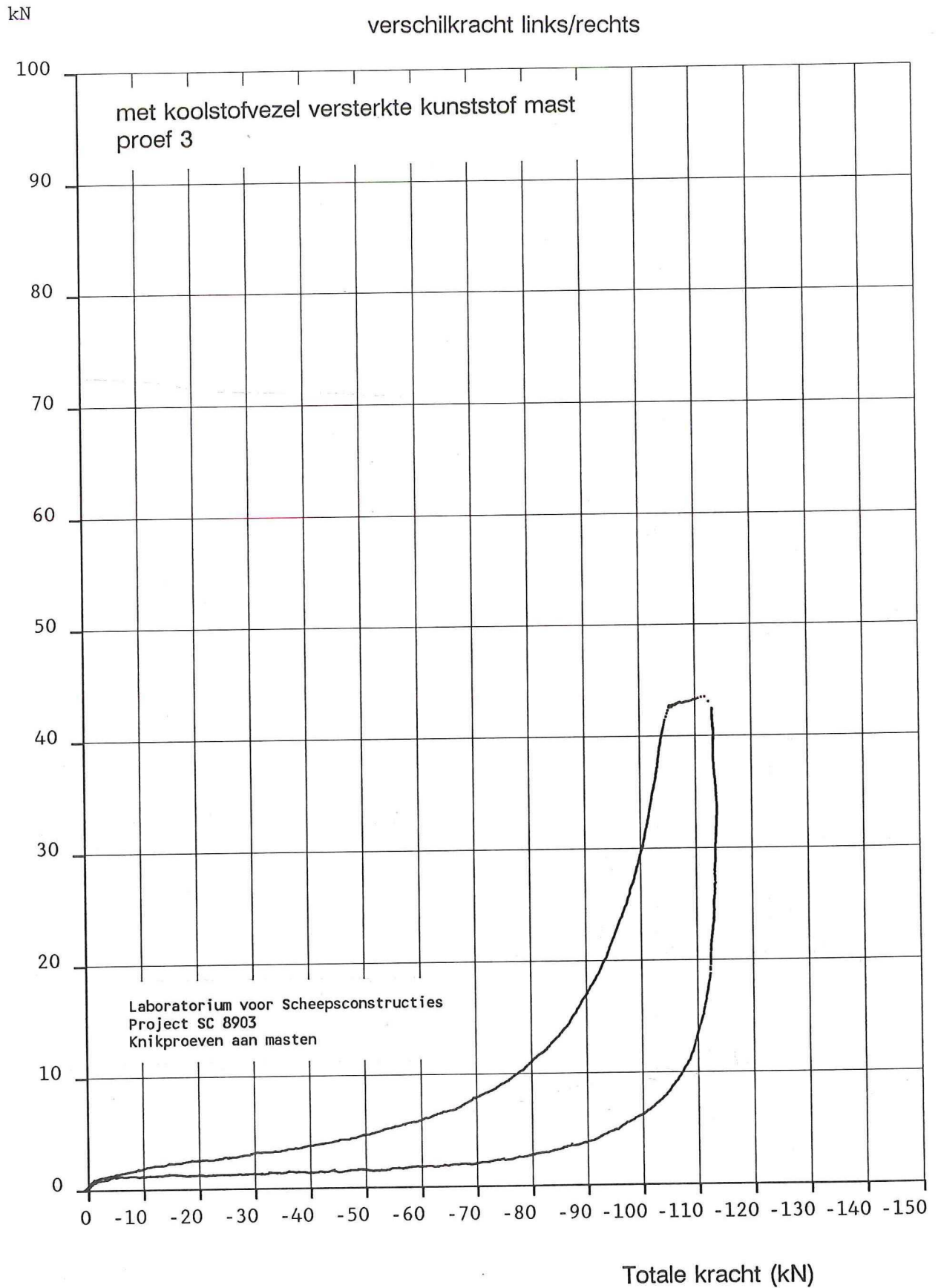


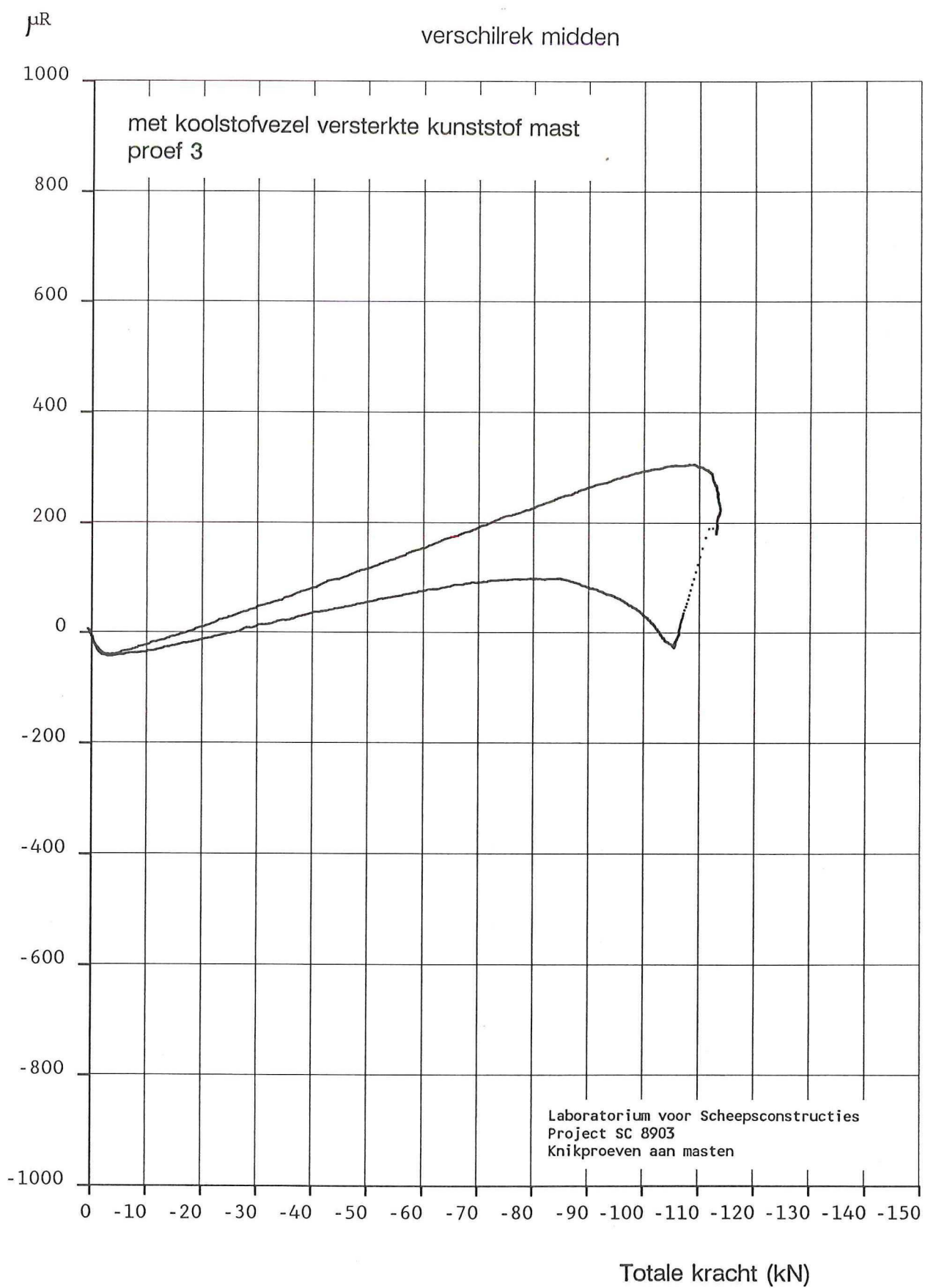






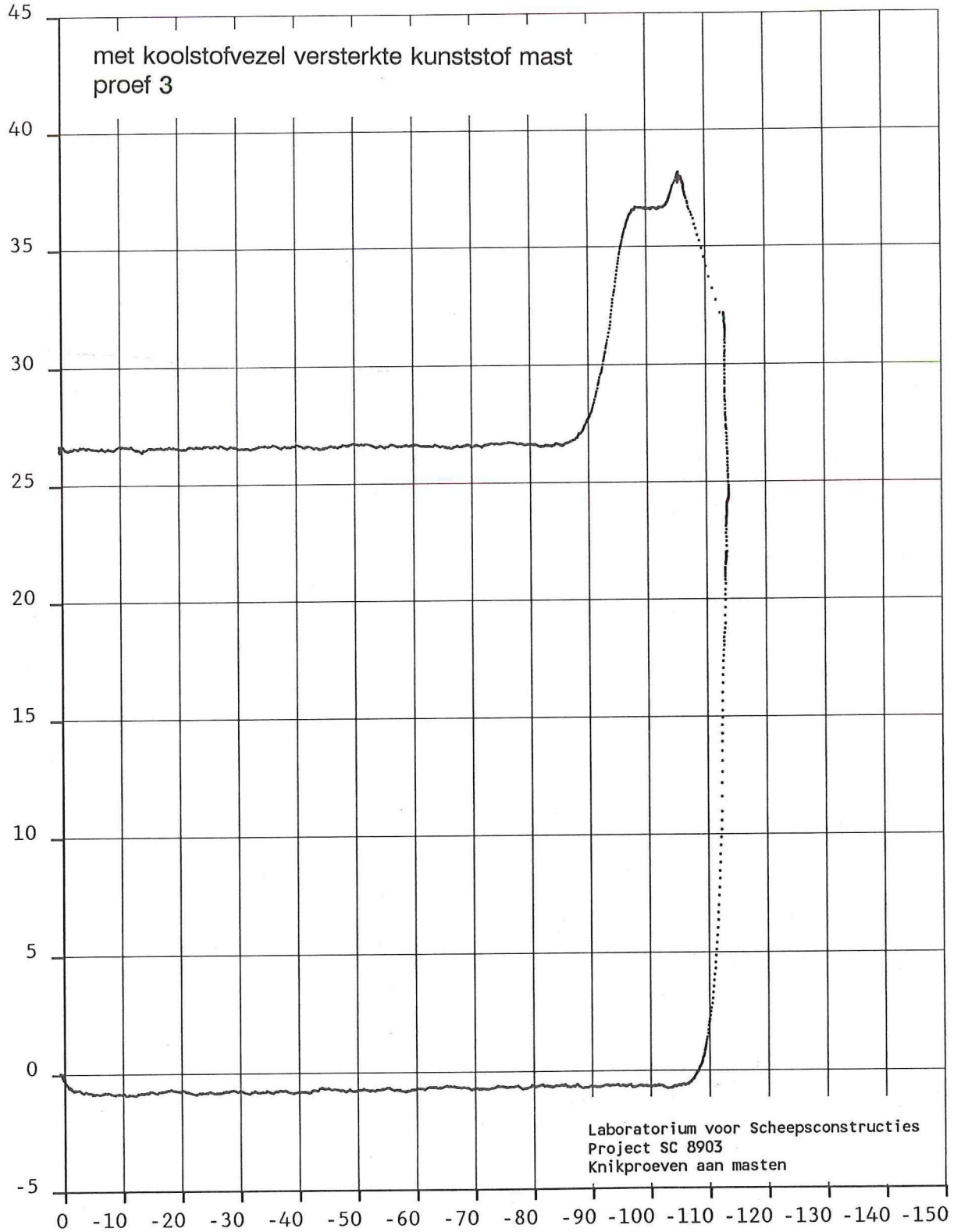




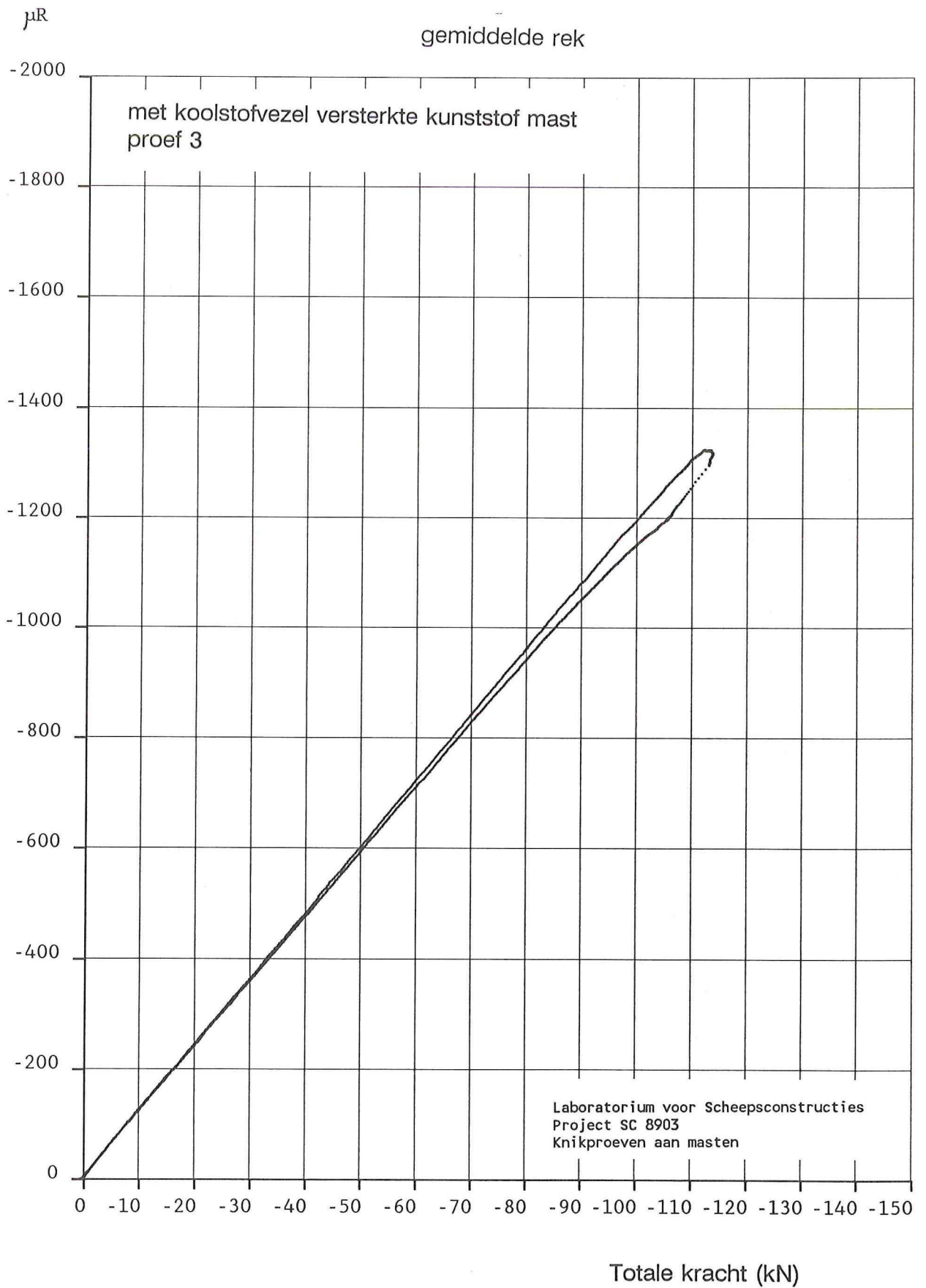


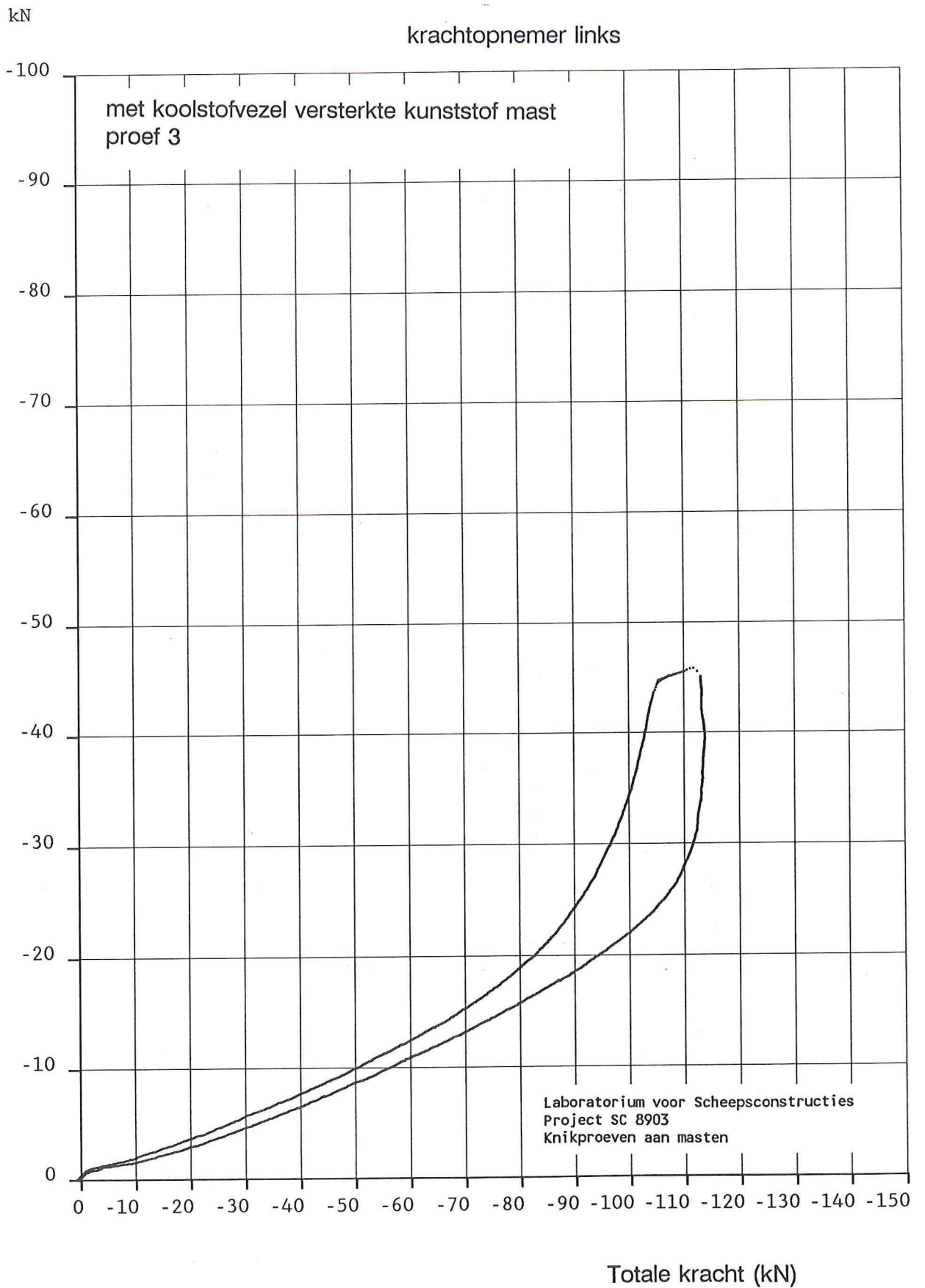
mm

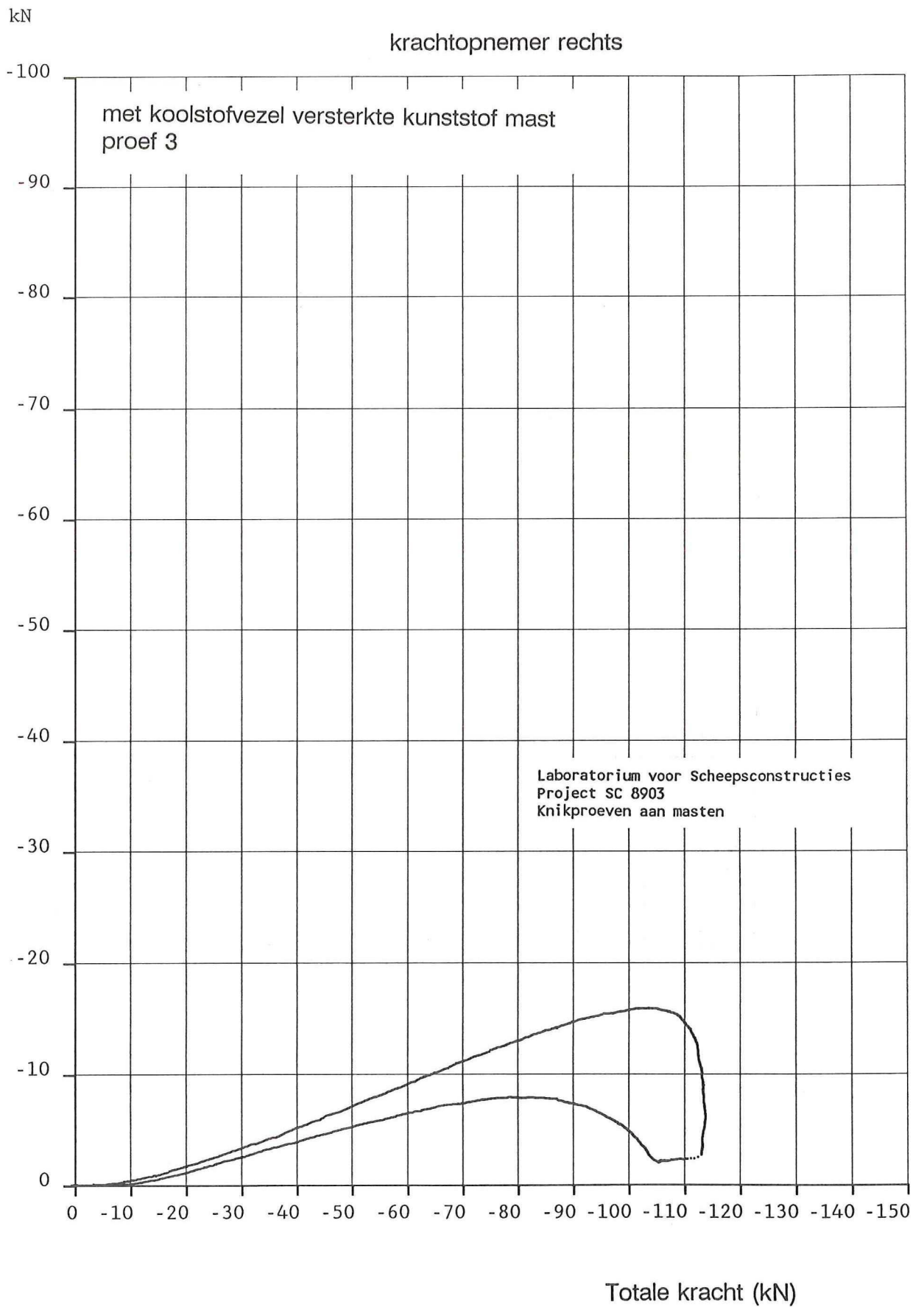
dwarsuitwijking



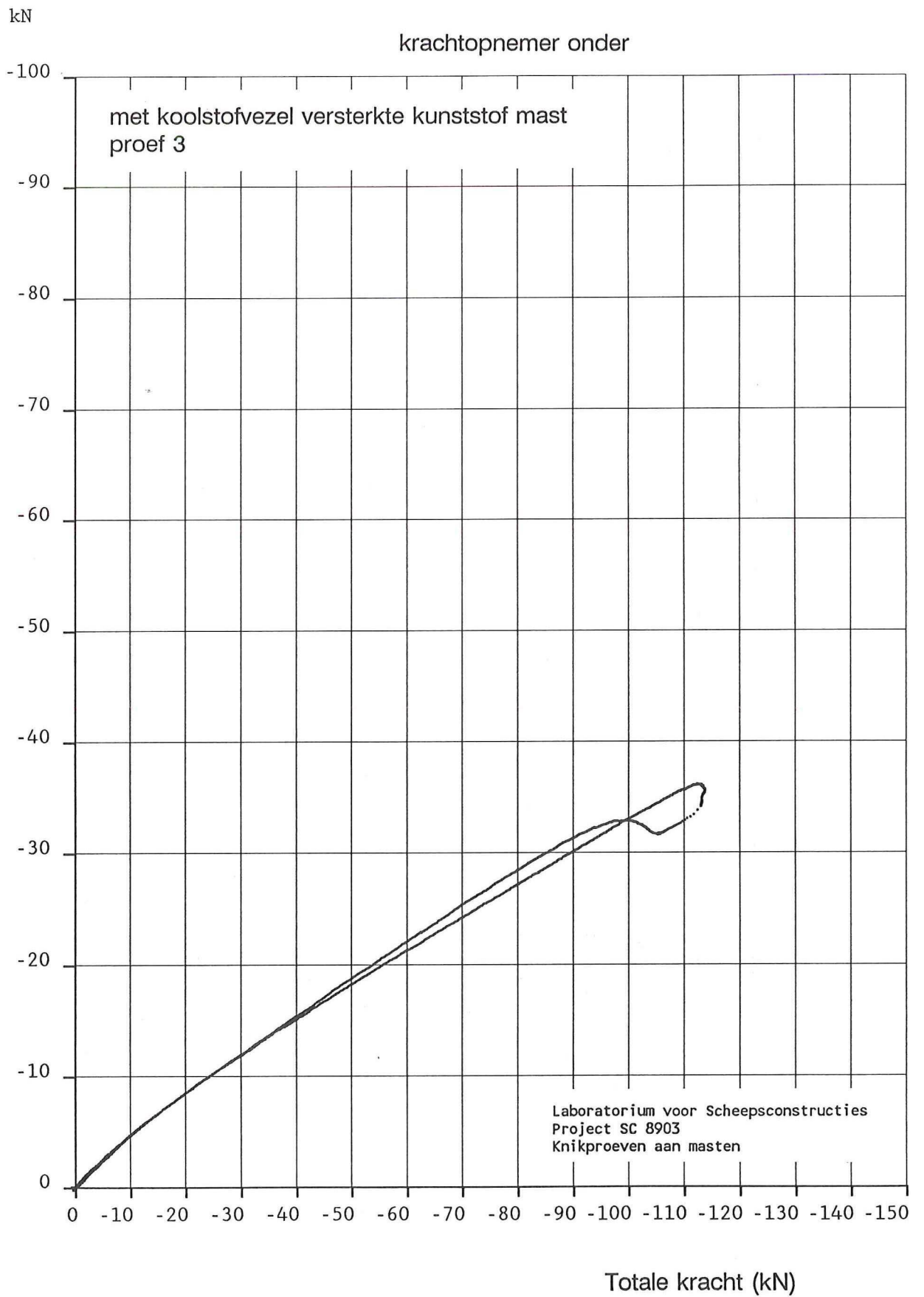
Totale kracht (kN)

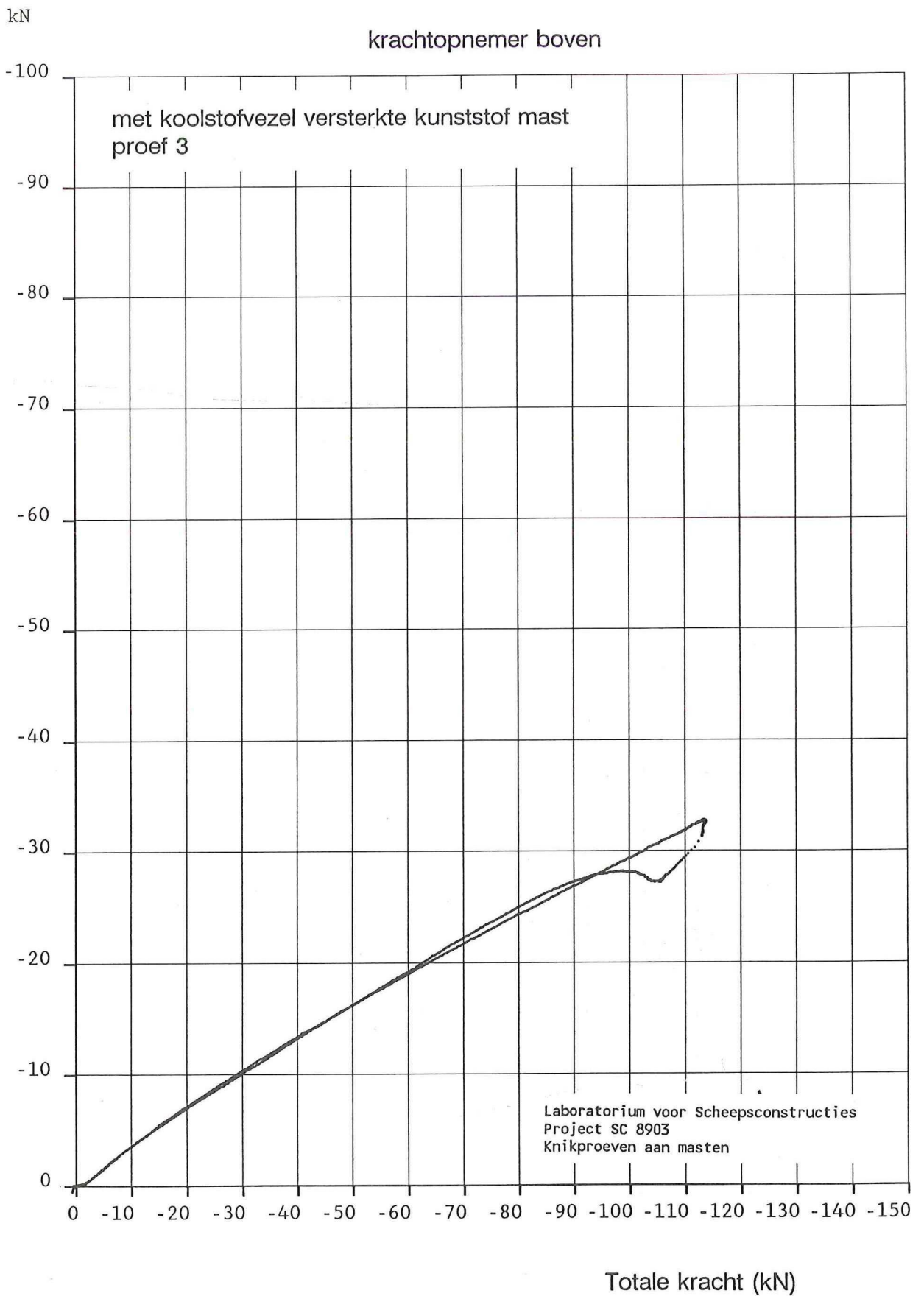


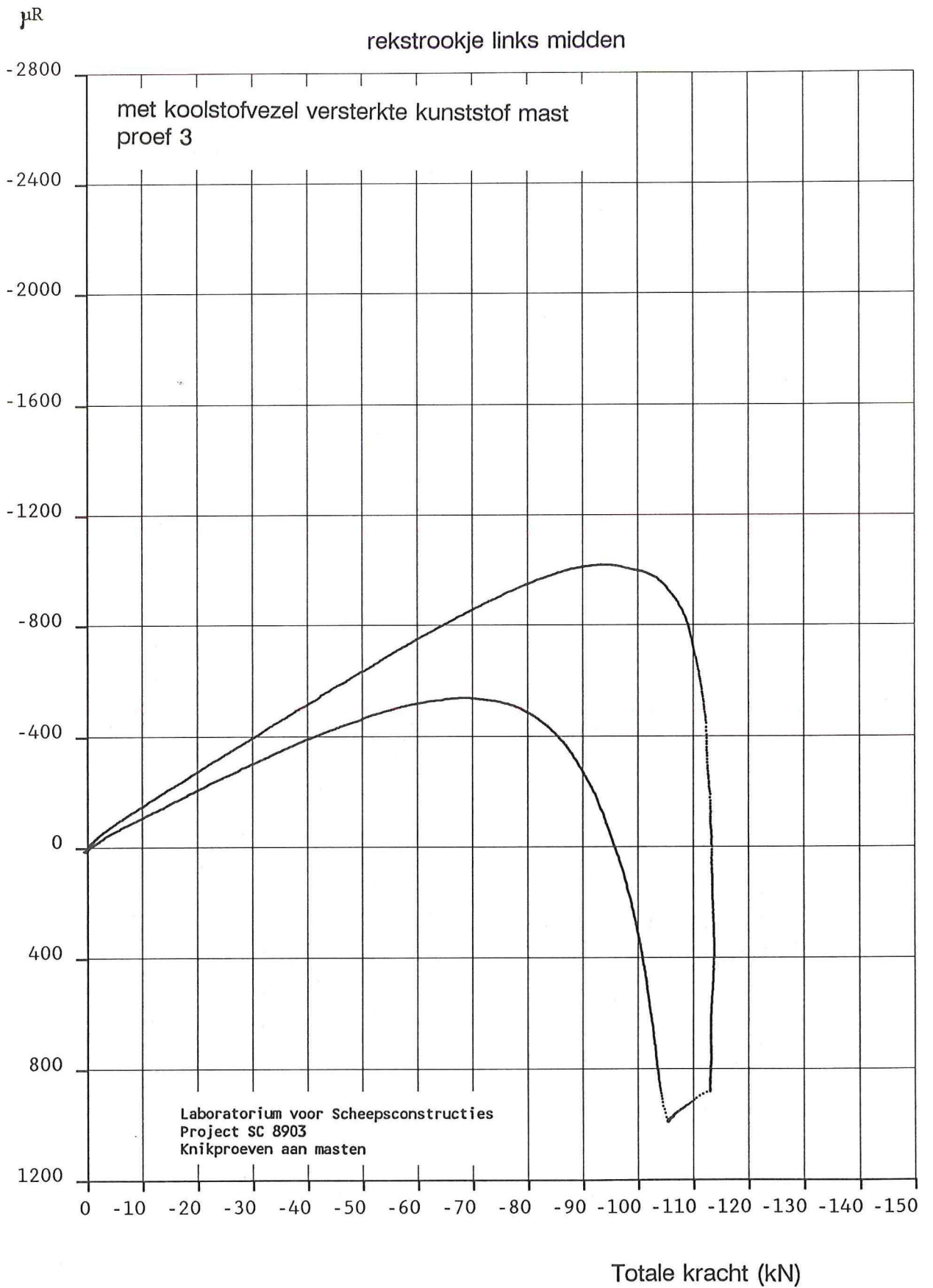


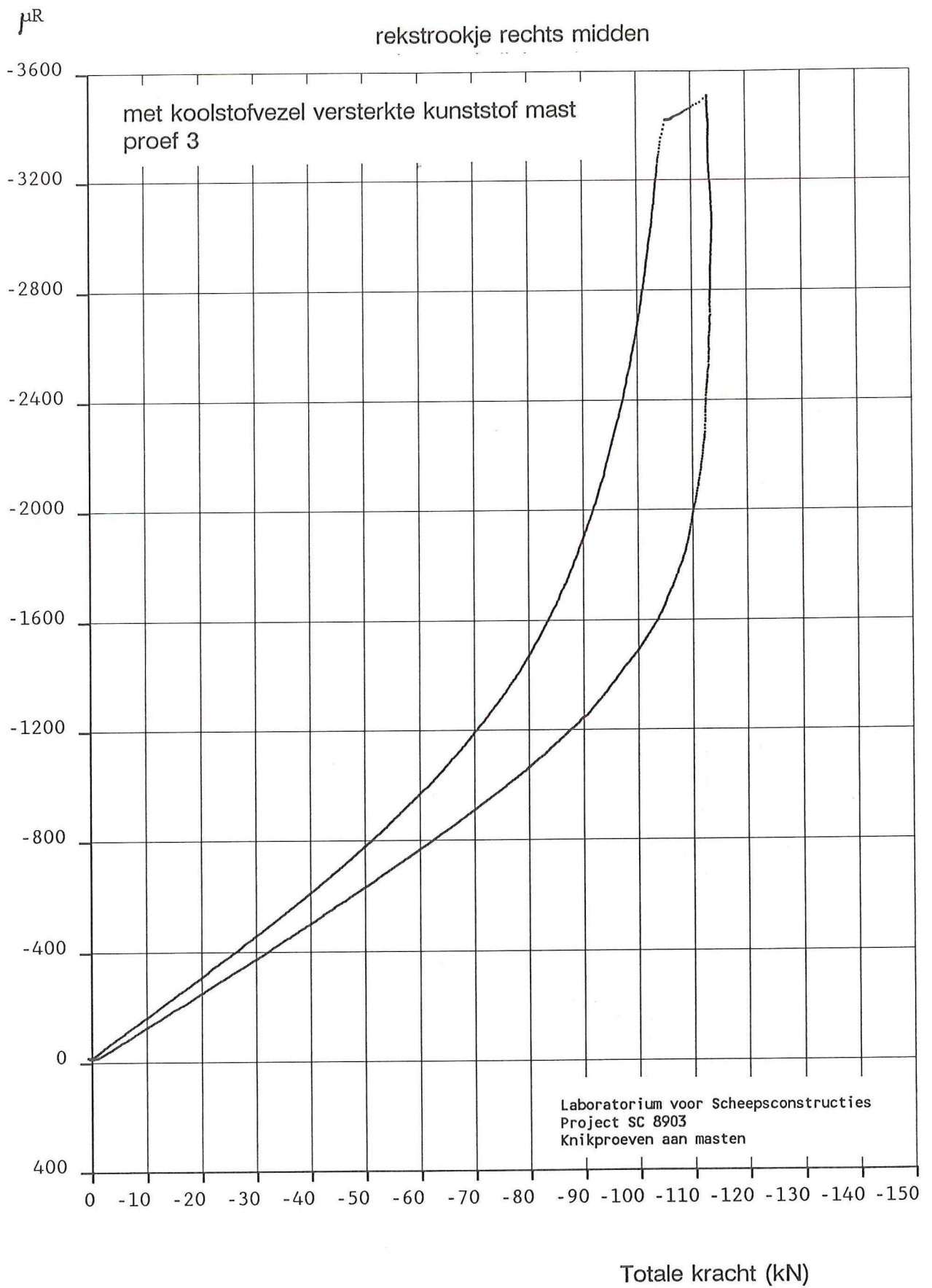


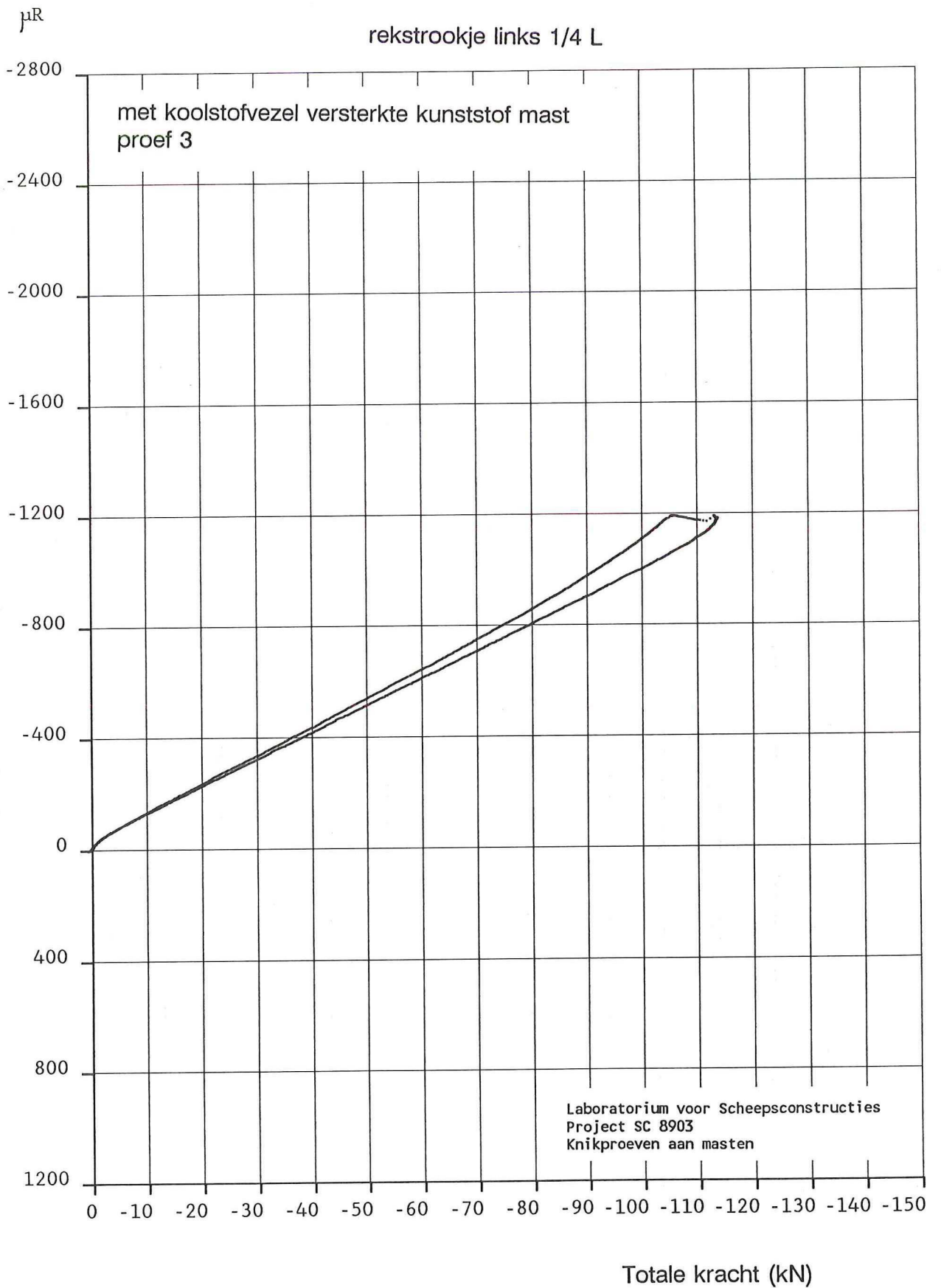


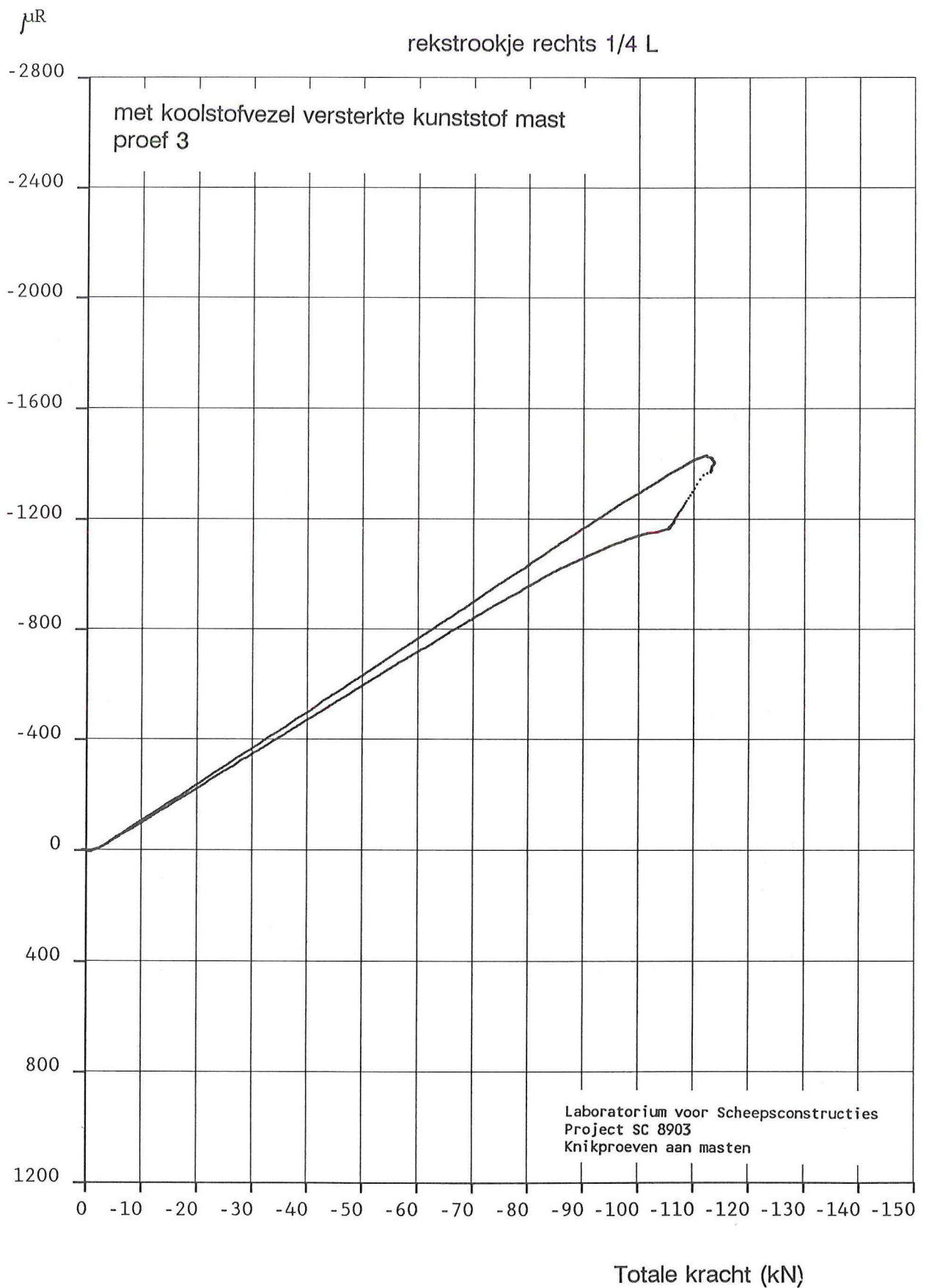


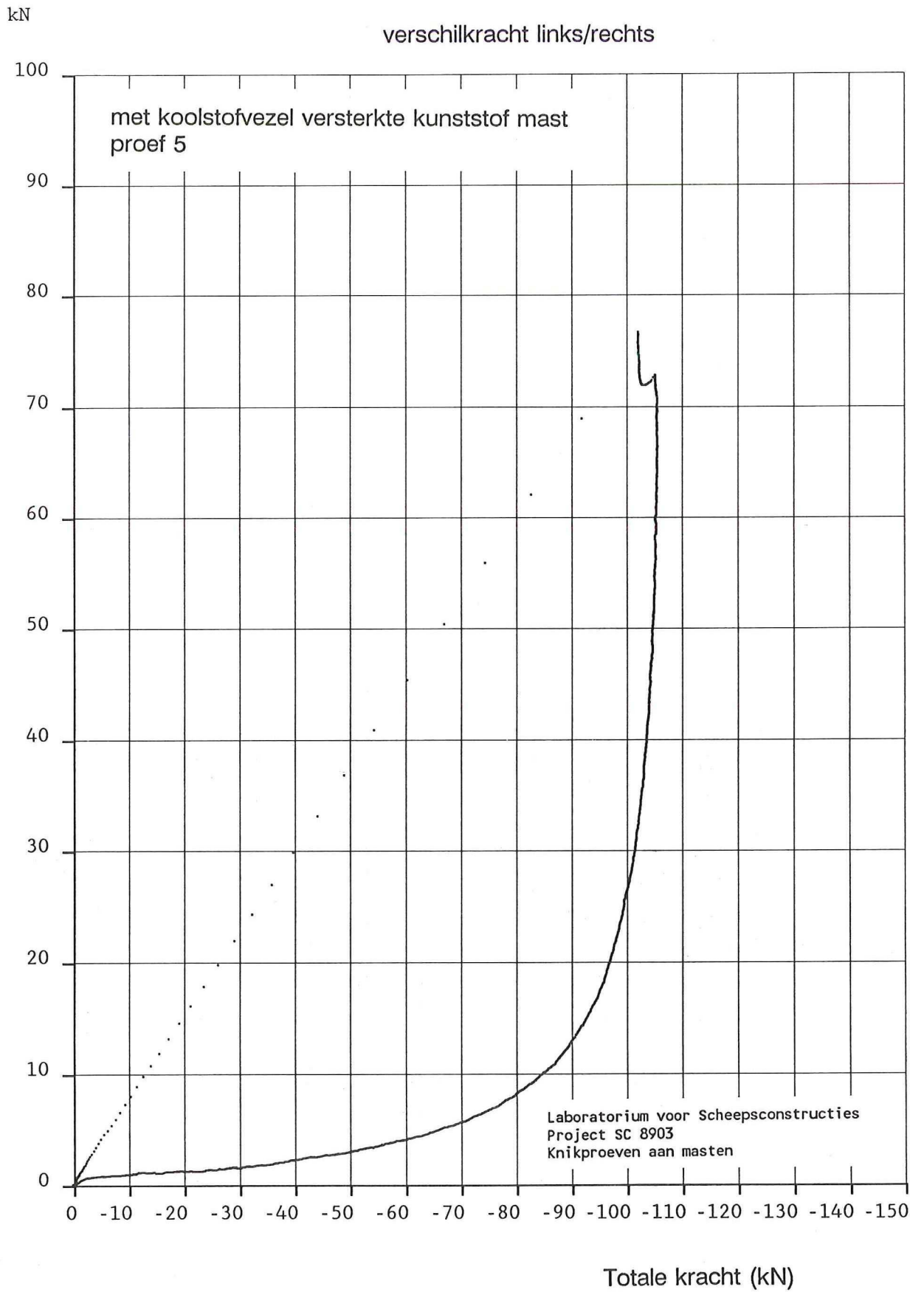






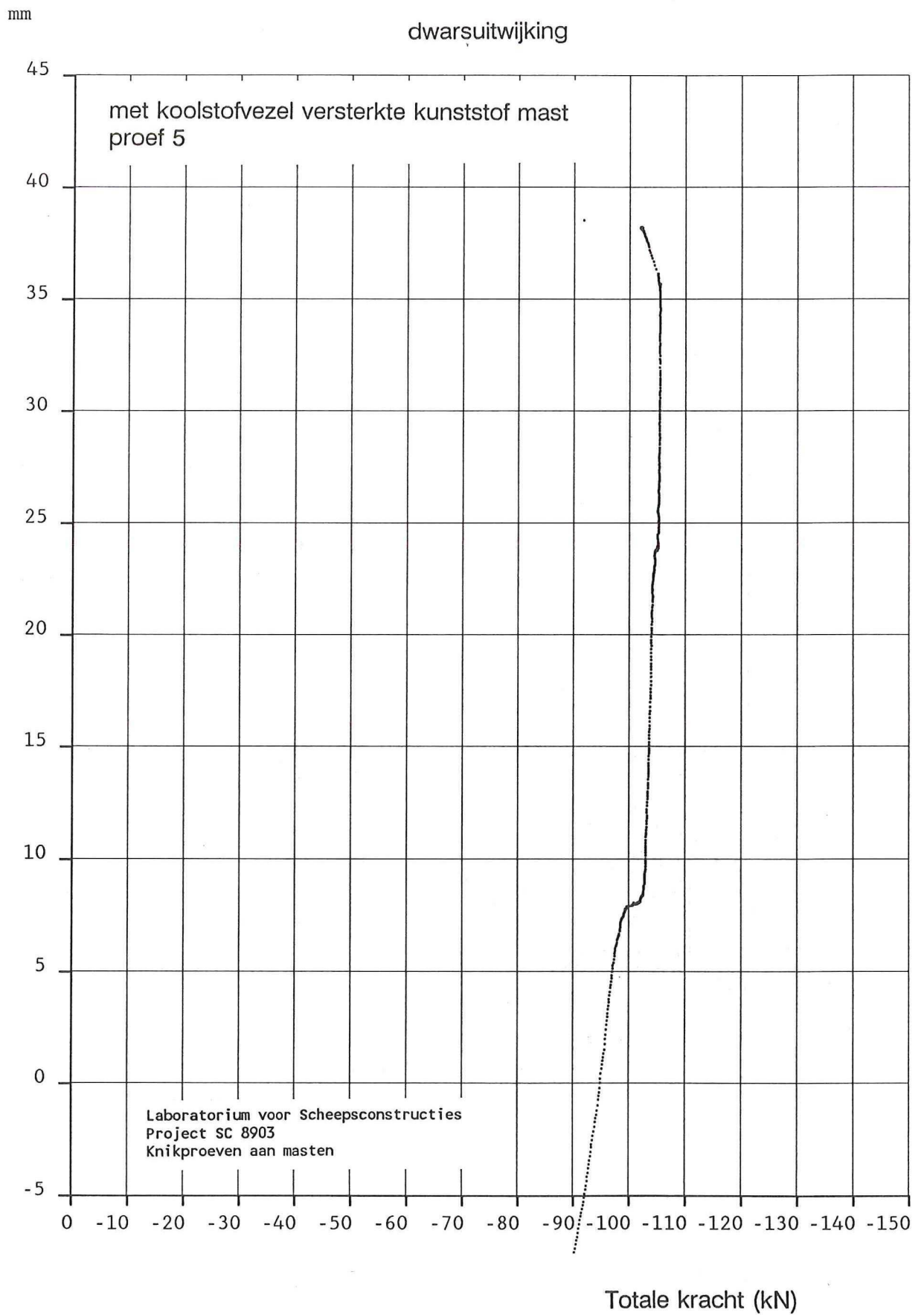


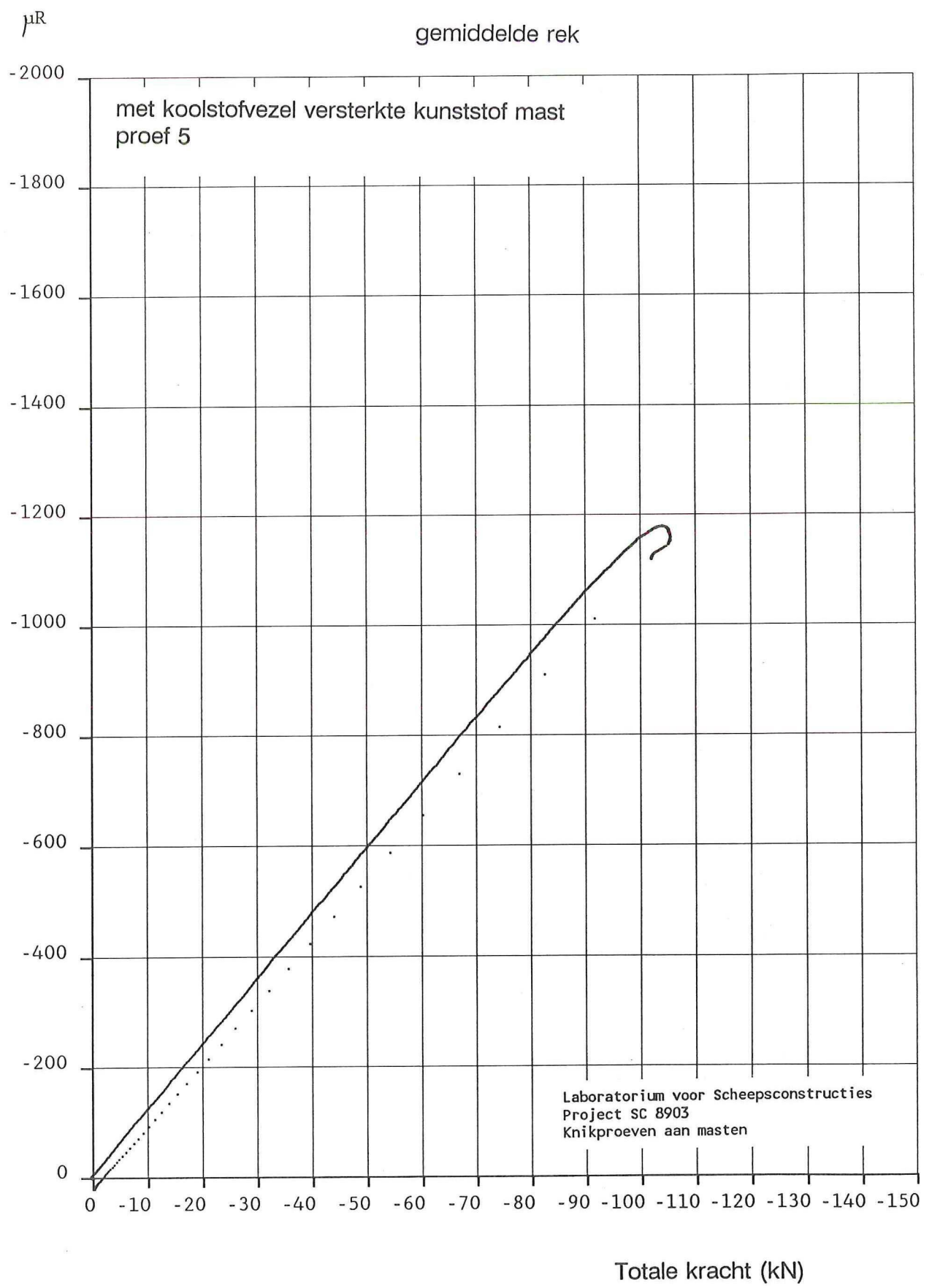


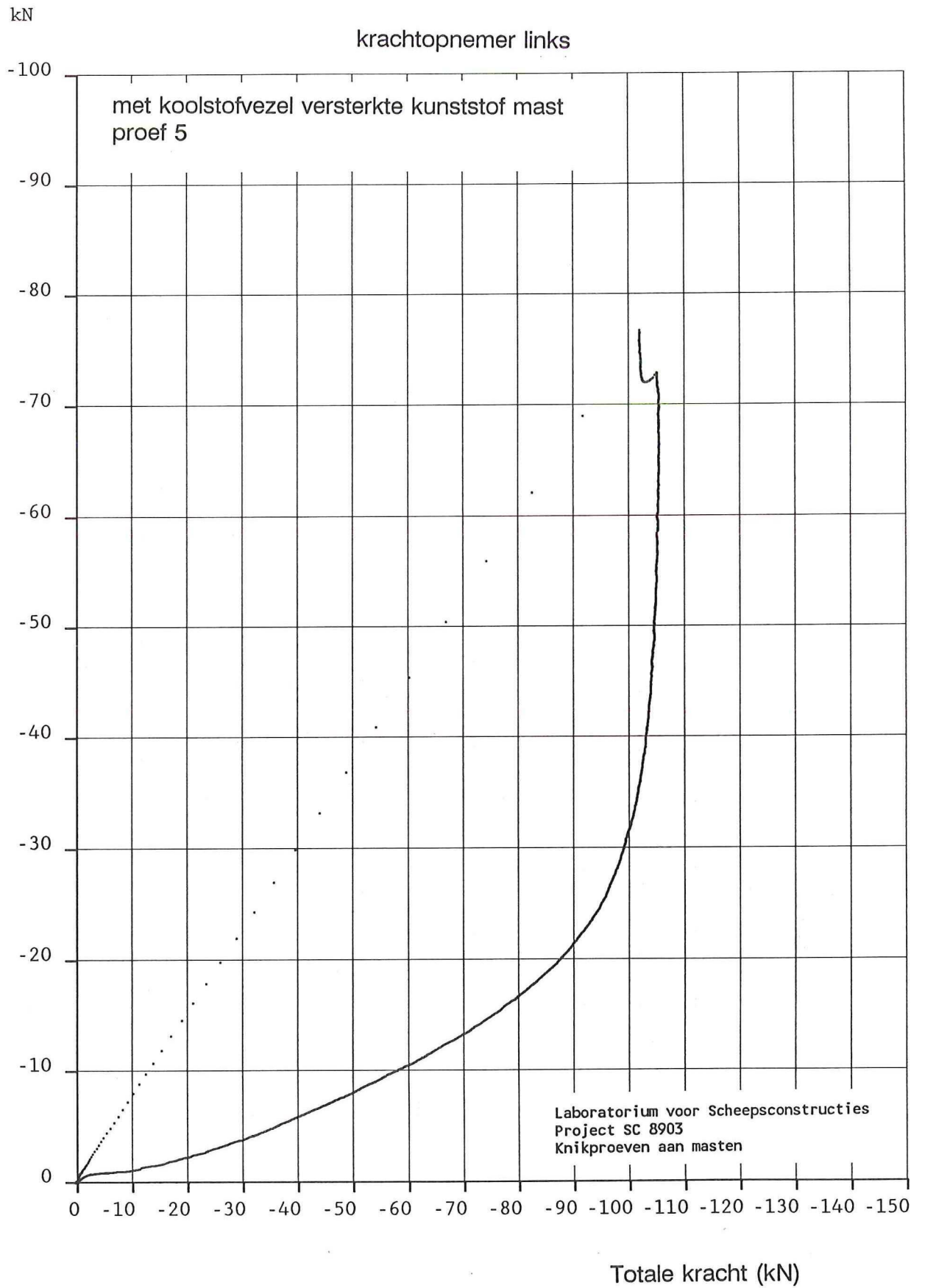


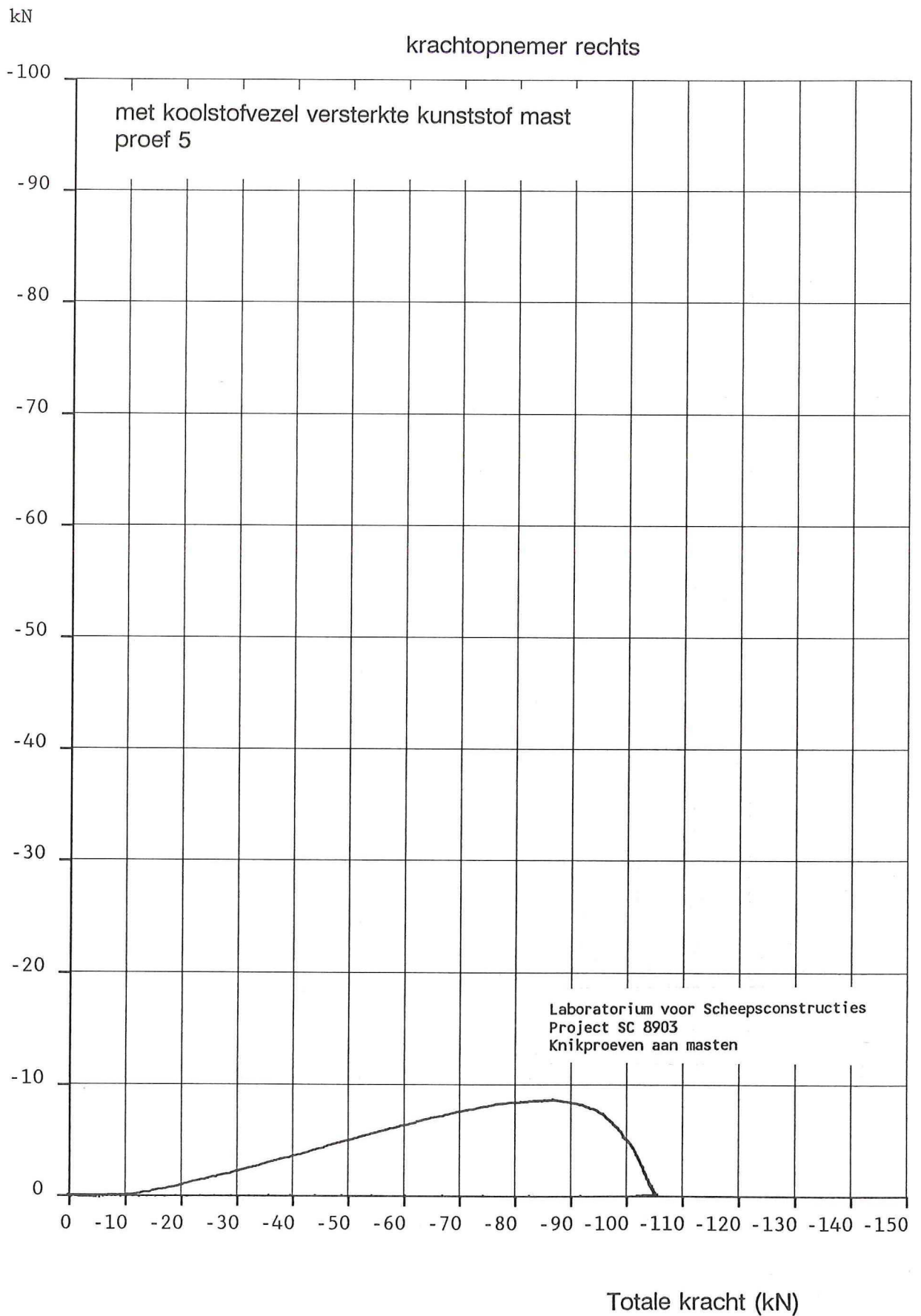


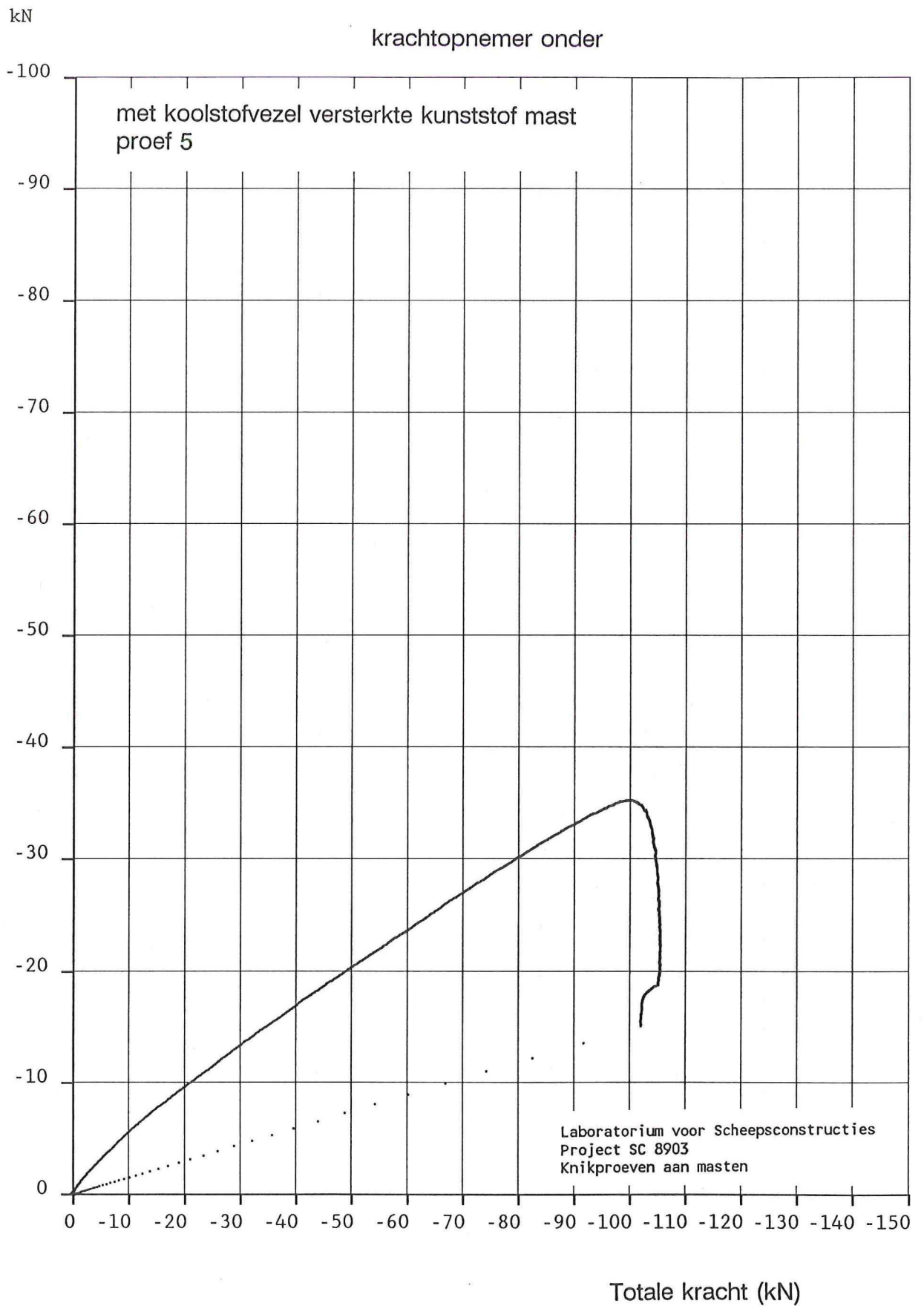


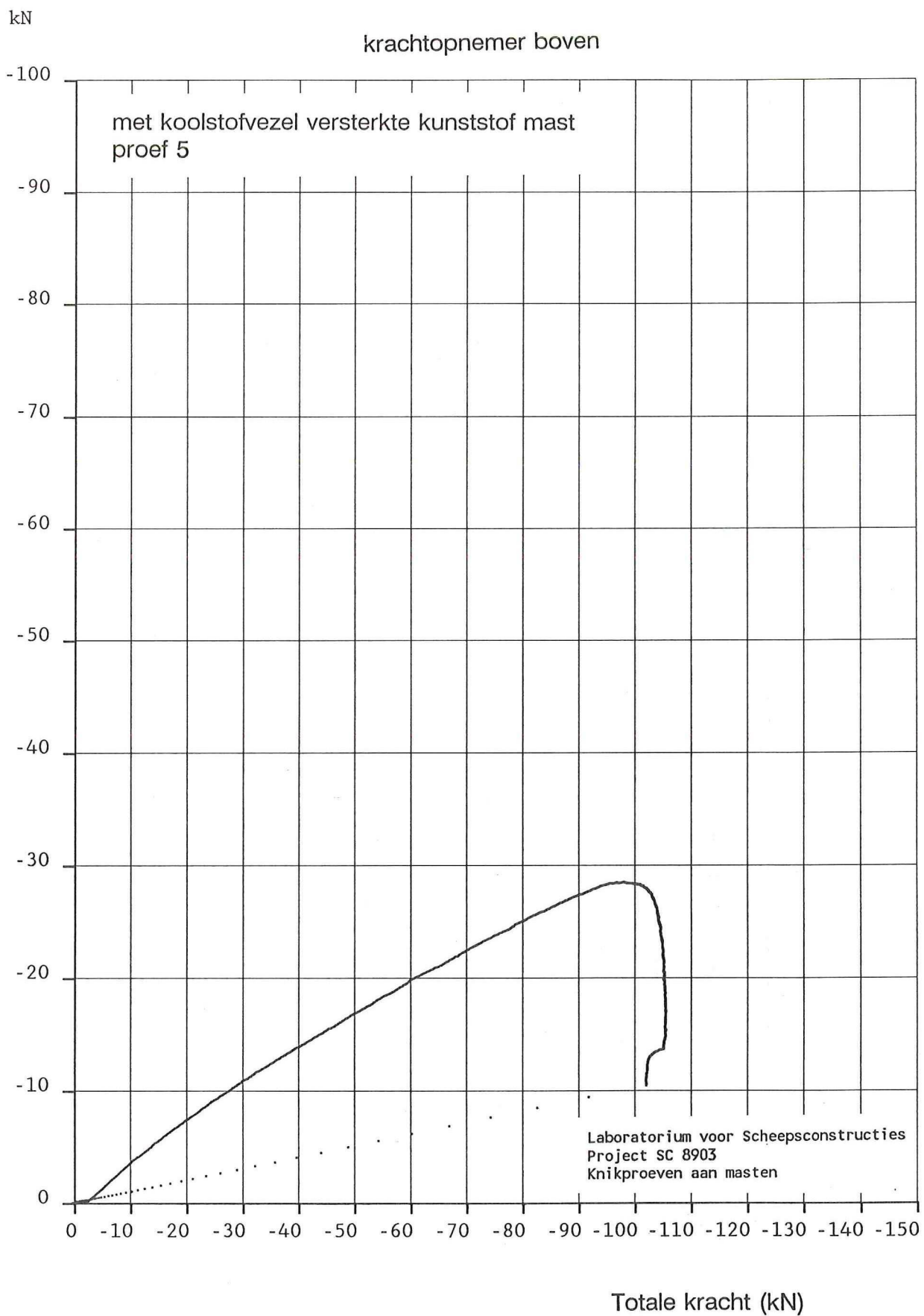


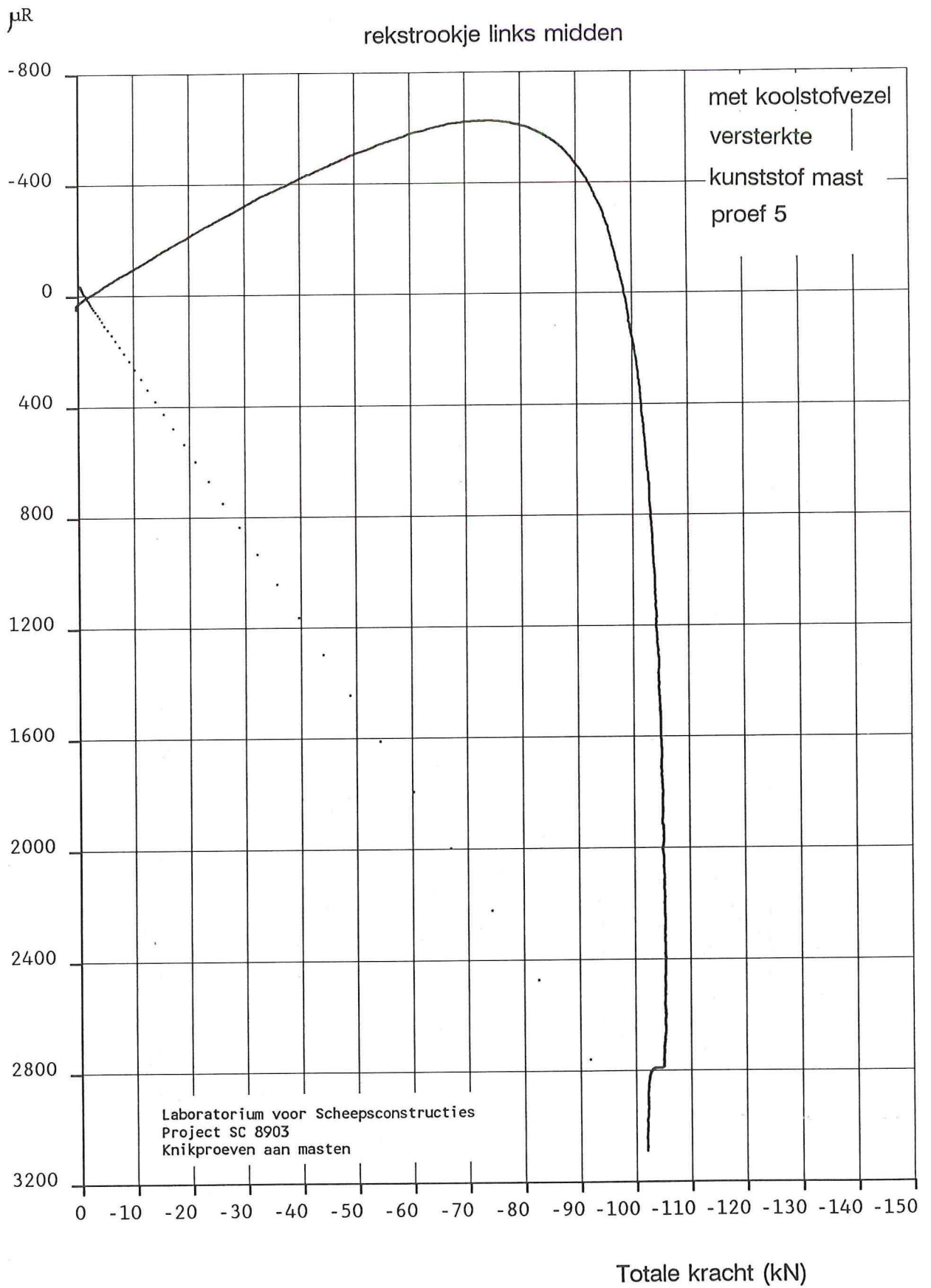


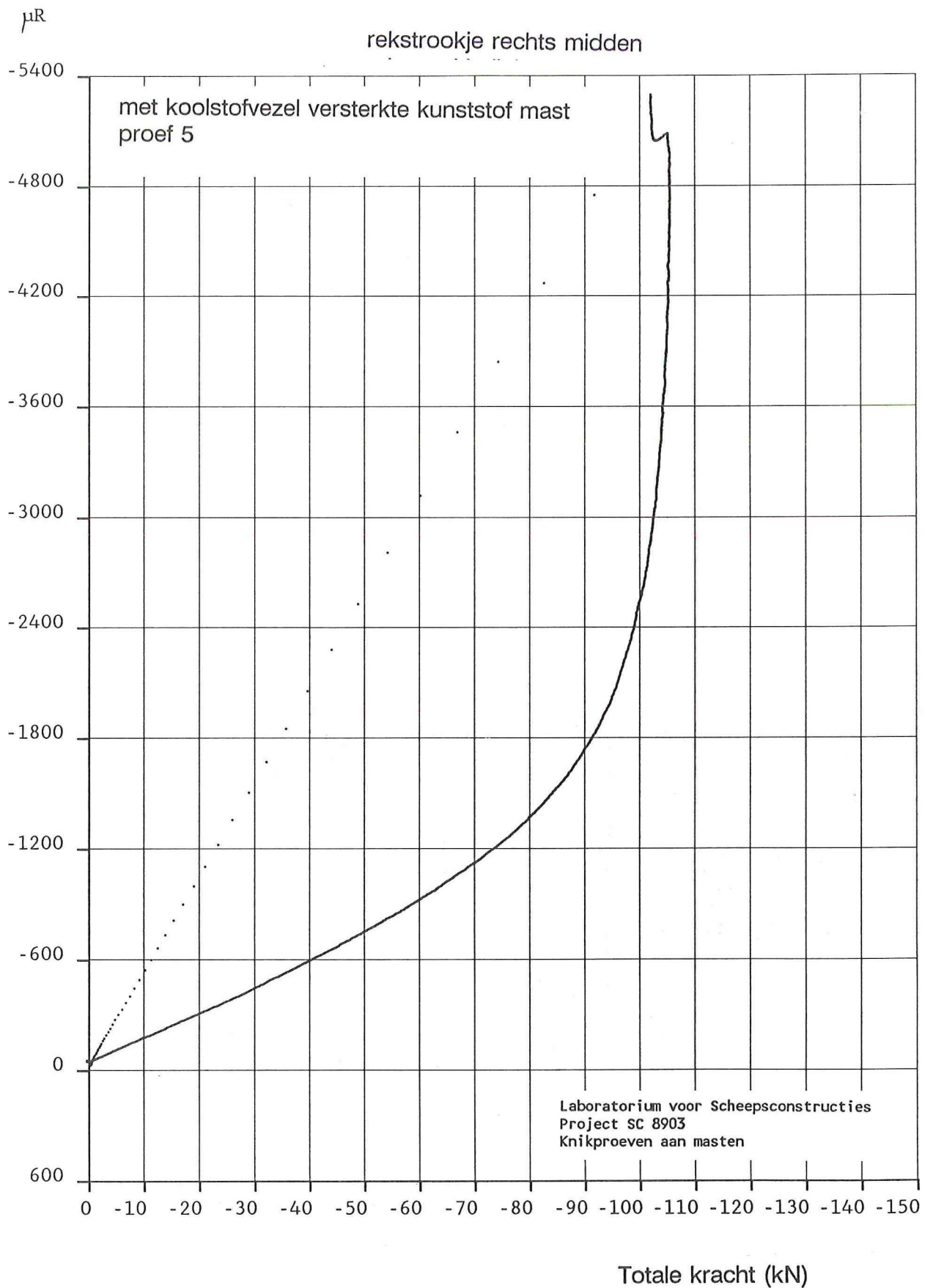




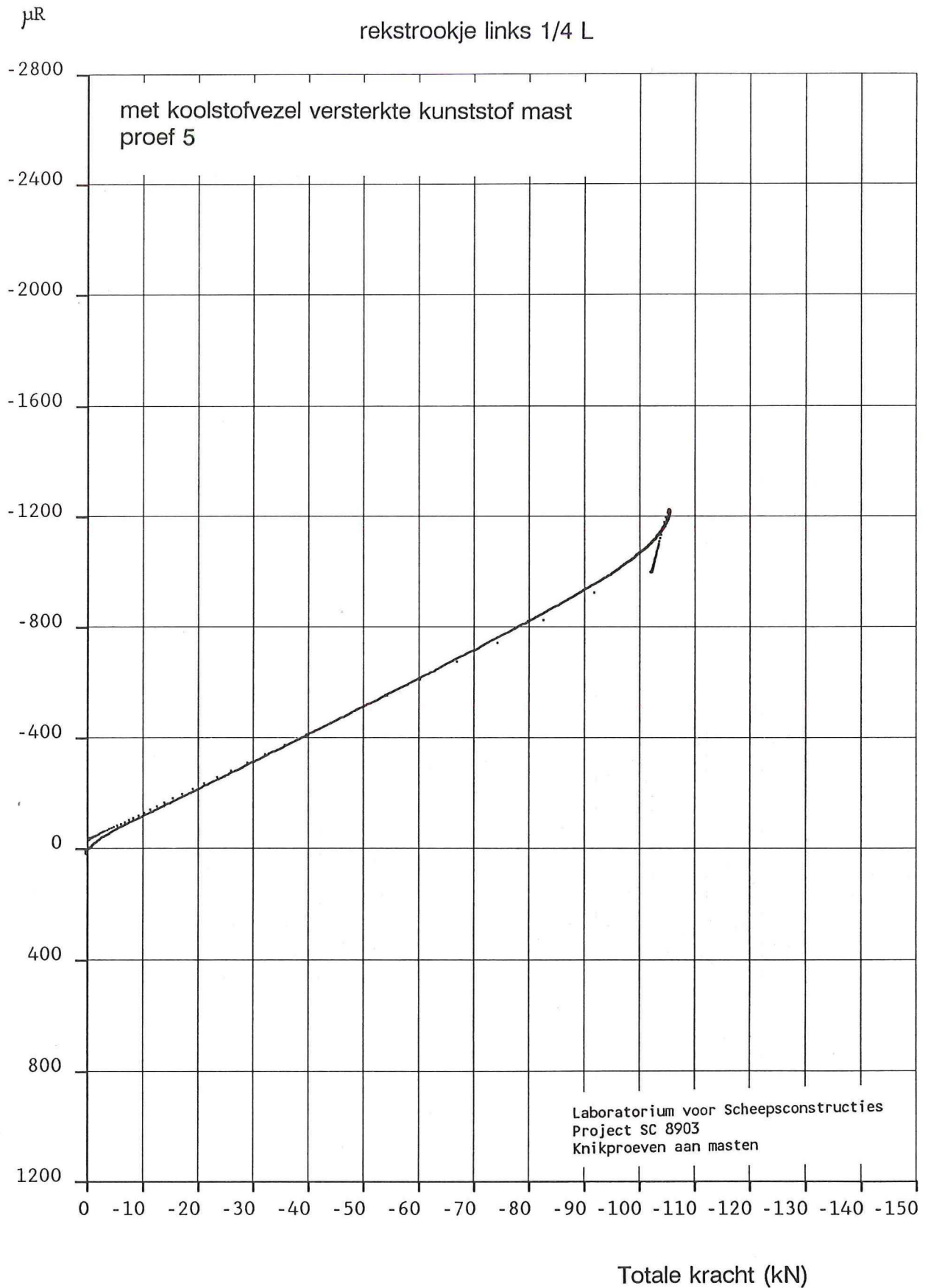


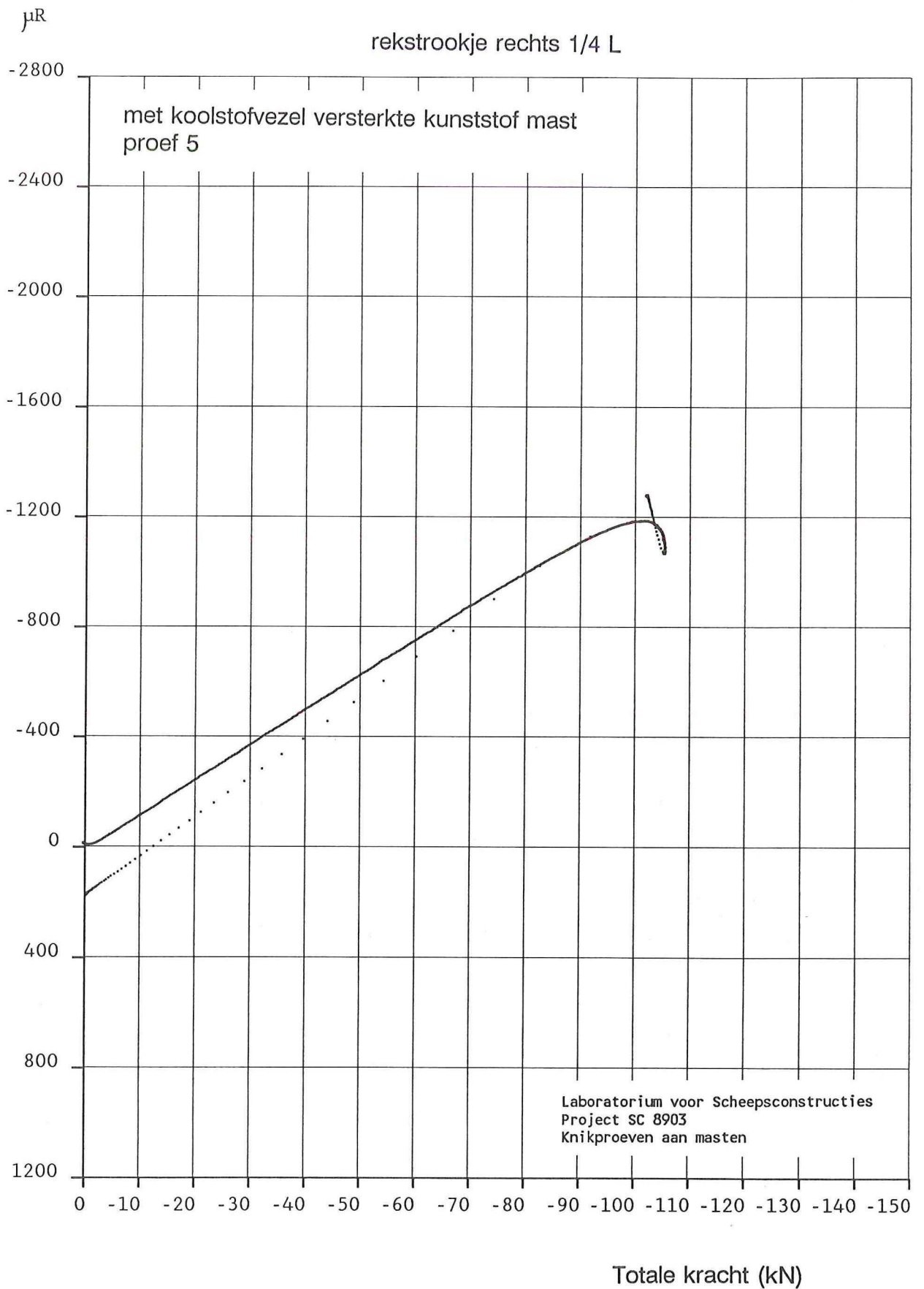








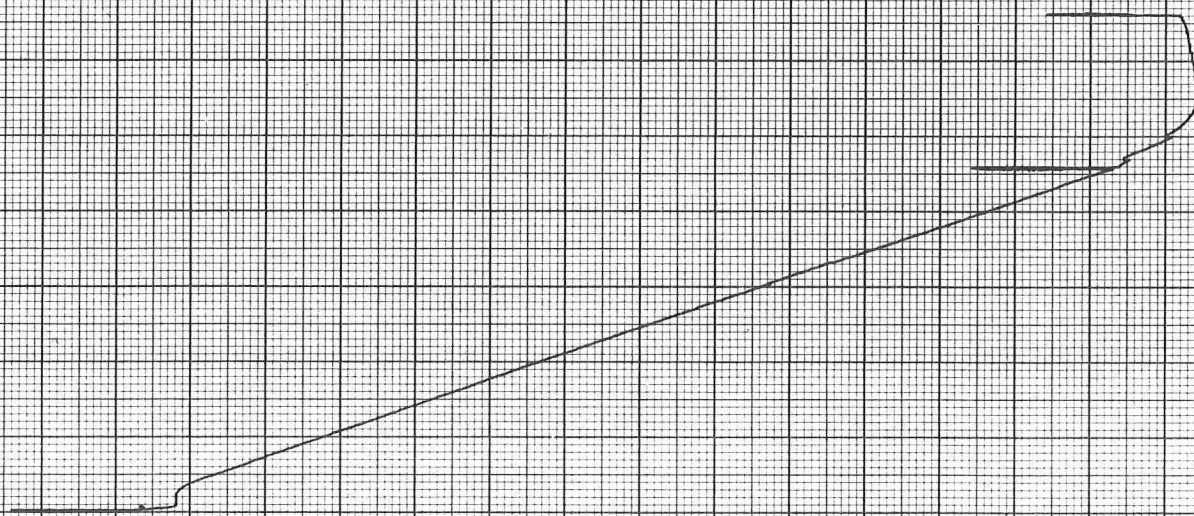




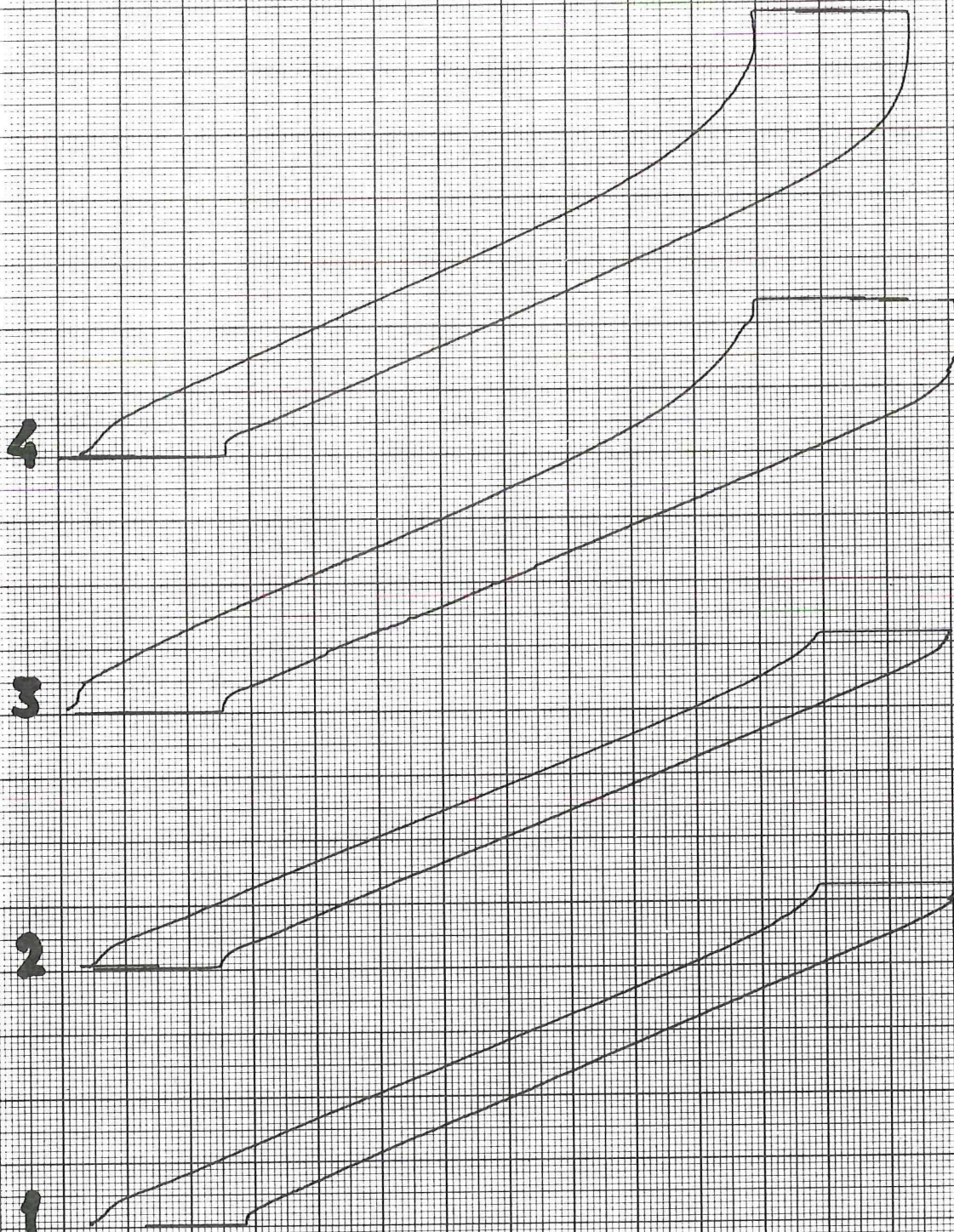
Laboratorium voor Scheepsconstructies  
Project SC 8903  
Knikproeven aan masten

**Bijlage III Aluminium mast**

Bankverplaatsing versus bankkracht  
X=bankkracht      1 cm  $\wedge$  100 tonf  
Y=verplaatsing    1 cm  $\wedge$  2mm





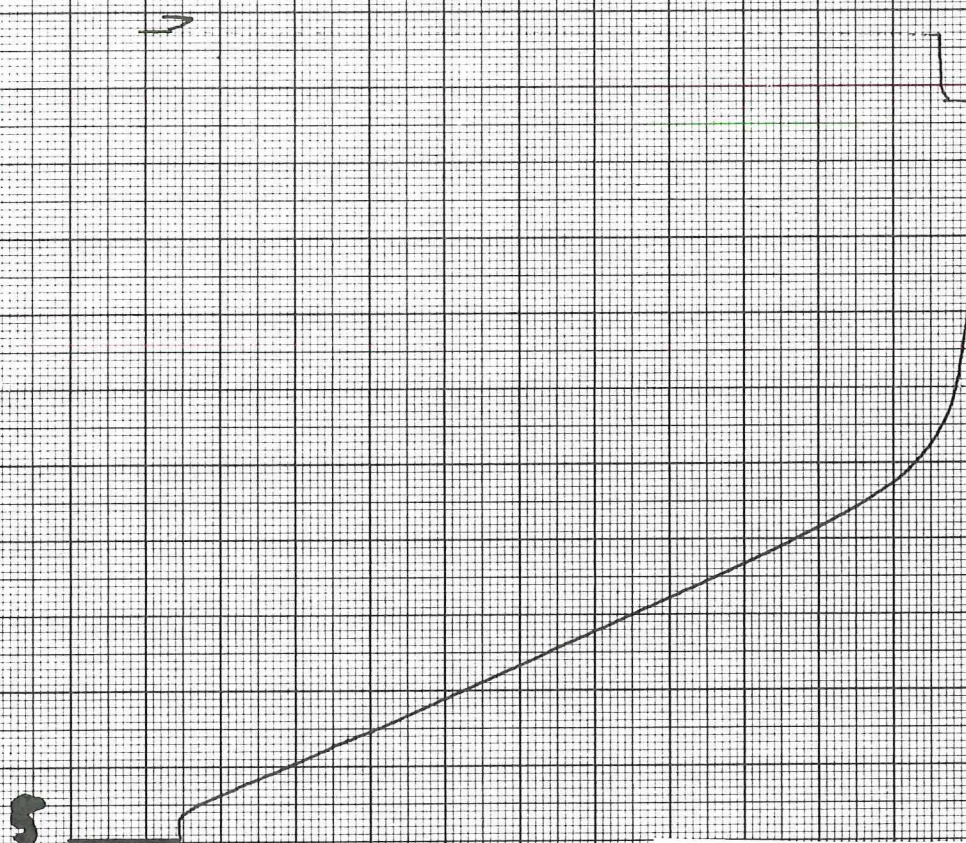


**Bijlage III Koolst.v. mast**

Bankverplaatsing versus bankkracht  
X=bankkracht      1 cm  $\wedge$  100 tonf  
Y=verplaatsing    1 cm  $\wedge$  2mm

**Proef 1 t/m 4**





**Bijlage III Koolst.v. mast**

Bankverplaatsing versus bankkracht  
X=bankkracht      1 cm  $\wedge$  100 tonf  
Y=verplaatsing    1 cm  $\wedge$  2mm

**Proef 5**

