

# Verslag naar aanleiding van mijn bezoek aan het Laboratorium Photo-Elasticiteit te Delft op 24 en 25 mei 1960

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

Bergmans, J. (1960). *Verslag naar aanleiding van mijn bezoek aan het Laboratorium Photo-Elasticiteit te Delft op 24 en 25 mei 1960*. (DCT rapporten; Vol. 1960.007). Technische Hogeschool Eindhoven.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1960

**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.

Verslag naar aanleiding van mijn bezoek aan het Laboratorium  
Photo - Elasticiteit te Delft op 24 en 25 mei 1960.

Gesproken met de heren: Prof. Koch, ir Geerlings en Zwart.

1. Opmerking: De brosse - lak - methode is in Delft op het studenten-practicum gebracht.

2. Drie - dimensionaal photo-elastisch onderzoek.

Tussen de diverse onderzoekers zijn grote meningsverschillen over de mogelijkheden van deze methode.

Prof. Fessler van Nottingham concentreert er al zijn tijd op en komt ieder jaar met nieuwe resultaten. Op het congres over Technische Mechanica worden deze resultaten echter ieder jaar afgekraakt door de school van Jessop.

Ook de Japanners: Tuzi, Okubo en Saito werken er hard aan.

De nauwkeurigheid schat ir Geerlings op ongeveer 5%. Onder bepaalde omstandigheden kan echter een uitkomst met deze nauwkeurigheid van groot belang zijn.

Bij het invriezen moet de verwarming van het werkstuk buitengewoon gelijkmatig zijn. Het is namelijk heel moeilijk om blijvende vervormingen te vermijden. Een gewone oven is hier beslist niet geschikt voor. Toch zijn aan ir Geerlings geen speciaal voor dit doel gebouwde ovens van Europees of Amerikaans fabrikaat bekend, maar slechts een Japanse.

Een oordeel over de kwaliteit daarvan heeft hij niet. Het bestaan van een aanbieding van Japanse zijde onderstreept echter wel het belang, dat men daar aan dit onderzoek hecht.

3. Te bouwen apparaat voor twee - dimensionaal werk.

3.1. Nauwkeurigheidseis.

De nauwkeurigheidseis voor het werk, dat de hoogste precisie vraagt, wordt door Prof. Koch als volgt geformuleerd:

- a) de mogelijkheid om spanningen te bepalen met een nauwkeurigheid van drie decimalen. Dit betekent, dat men bij het getal 999 nog zekerheid heeft over die laatste 9.
- b) de instelling van de hoek van de polarisatie-filters met een nauwkeurigheid van  $1/100$  graad.

Het is niet waarschijnlijk, dat deze eisen zin hebben voor een apparaat, werkend met polaroid filters en  $\frac{1}{4} \lambda$ -platen van 200 mm. diameter en met plastic modellen. Met Nikols en glas-modellen zou een dergelijke eis wel zin hebben.

Voor het werk, dat niet de allerhoogste precisie vraagt, is echter het werken met de filters van 200 mm. diameter en met plastic modellen zo aanlokkelijk, dat ir Geerlings in ieder geval een dergelijk apparaat bouwen wil.

ad a. Wat betreft de nauwkeurigheid in de bepaling van de spanning, is het belangrijk om na te gaan, in hoeverre de  $\frac{1}{4} \lambda$ -platen hier een onacceptabele onnauwkeurigheid veroorzaken. De Polaroid Company noemt voor zijn  $\frac{1}{4} \lambda$ -platen een tolerantie van  $\pm 20 \text{ m}\mu$  op de golflengte van  $555 \text{ m}\mu$ . Als deze garantie zodanig bedoeld is, dat in één plaat van 20 cm. diameter plaatsen te vinden zijn waar het golflengte verschil  $\frac{1}{4}$  van  $535 \text{ m}\mu$  en andere plaatsen waar dit  $\frac{1}{4}$  van  $575 \text{ m}\mu$  bedraagt, dan geeft dit een enorme foutenbron, vooral bij kleine spanningswaarden, en zou het hierdoor uitgesloten zijn, dat de methode van Sénarmont of Tardy gebruikt kan worden om de

onderdelen van de orde te bepalen. Wanneer echter deze garantie betekent, dat over het gehele oppervlak van de plaat het golflengte verschil buitengewoon gelijkmatig is, maar tussen de platen onderling de aangegeven tolerantie bestaat, dan zal het waarschijnlijk wél mogelijk zijn om één van deze methoden (die constructief zeer aantrekkelijk zijn) toe te passen.

ad b. Wat betreft de nauwkeurigheid van instelling van de hoek van de polarisatie-filters, heeft het zin om na te gaan, in hoeverre de polarisatie-eigenschappen van een polaroïd filter van 200 mm. diameter een dergelijke instelling zinvol maken. We kunnen een dergelijke meting met behulp van Nikols uitvoeren. We moeten dan een kleine lichtbundel maken, die door een diafragma opening van 1 mm.-diameter of kleiner valt en de tophoek bezit van het "parallele" licht, dat we ons voorstellen in het te bouwen apparaat te gaan gebruiken. Eerst zullen we moeten vaststellen, of met behulp van 2 Nikols (polarisator en analysator) een instelling met de genoemde nauwkeurigheid zinvol is. Als de uitkomst van deze proef positief is, kunnen we voor verschillende punten van het polaroïd filter de meting uitvoeren en nagaan, of ook hiermede een instelling op deze nauwkeurigheid te bereiken is en verder of de hieruit gevonden waarden voor de diverse punten van het filter niet te grote onderlinge afwijkingen van de polarisatierichting vertonen.

### 3.2. Compensatie.

Voor het bepalen van de spanningstoestand in een punt van het model is het altijd nodig twee metingen te doen namelijk: eerst een meting over de stand van de hoofdvlakken in het punt van het model en op basis daarvan: de nauwkeurige bepaling van  $\sigma_1 - \sigma_2$ .

Bij deze laatste meting kan gebruik gemaakt worden van de analysator als compensator, of van een aparte compensator. In het eerste geval heeft men het voordeel dat alle punten van het model door de analysator bestreken worden, terwijl de aparte compensator naar het te meten punt moet worden toegebracht.

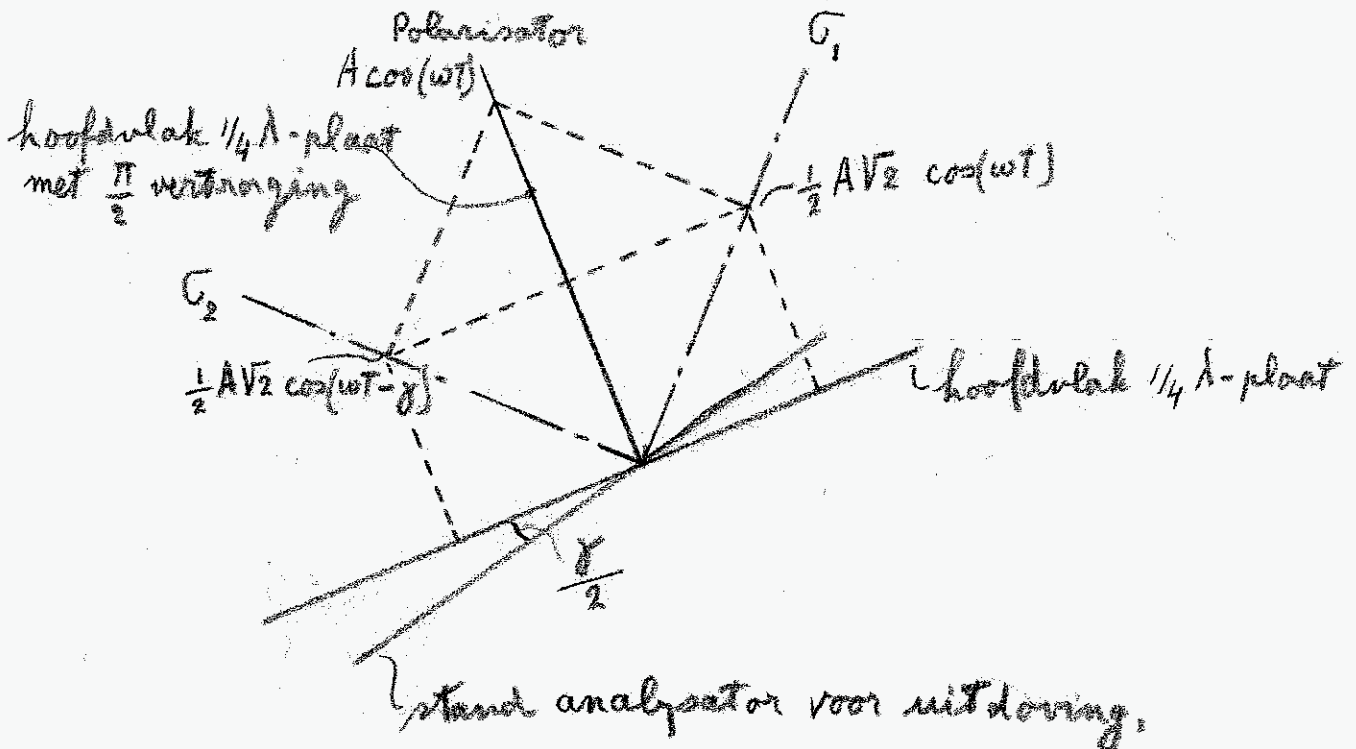
#### 3.2.1. Compensatie methode door middel van de analysator.

Er zijn twee methoden om de onderdelen van de orde te bepalen door middel van de analysator. In beide gevallen maakt men gebruik van twee in tegengestelde richting draaiende circulair gepolariseerde lichtsoorten van dezelfde amplitude, met een onderling phase-verschil, gelijk aan de vertragingshoek tussen de beide hoofds�nningvlakken van het te meten modelpunt. Omdat twee in tegengestelde richting draaiende circulair gepolariseerde lichtsoorten van dezelfde amplitude samen lineair-gepolariseerd licht opleveren, komt het onderlinge phase verschil te voorschijn in de stand van het polarisatie vlak van het resulterende lineair-gepolariseerde licht. Dit polarisatie vlak is n.l. het vlak, waar de beide in tegengestelde richting draaiende circulaire lichtsoorten elkaar ontmoeten.

Doordat het hier gaat om een ontmoeting is het duidelijk, dat de standhoek van dit polarisatie vlak t.o.v. een bepaald meetvlak gelijk is aan de halve vertragingshoek, die er tussen de beide circulaire lichtsoorten bestond.

Nauwkeuriger omschreven zijn de beide methoden als volgt:

- A. Lineair-gepolariseerd licht wordt op het te meten modelpunt geworpen met een hoek van  $45^\circ$  tussen het polarisatie vlak en de beide hoofdspansingsvlakken van het modelpunt. We kunnen ons het plan-gepolariseerde licht ontbonden denken in de hoofdspansingsrichtingen van het modelpunt (twee aan elkaar gelijke ontbondenen, waarvan één bij het doorlopen van het model een vertragingshoek,  $\gamma$ , ten opzichte van de andere ondervindt). De  $\frac{1}{4} \lambda$ -plaat van de analyser staat nu weer in lijn met de polarisator (dus onder hoeken  $45^\circ$  met de hoofdspansingsrichtingen van het modelpunt). Bij het doorlopen van deze  $\frac{1}{4} \lambda$ -plaat worden de beide bovengenoemde ontbondenen omgevormd tot circulair gepolariseerd licht met tegengestelde draairichting. Deze stellen zich weer samen tot lineair-gepolariseerd licht, echter in een vlak, dat de hoek  $\frac{\gamma}{2}$  maakt met het oorspronkelijke polarisatie vlak. Stand van de verschillende elementen bij deze meting is dus:
- polarisator, zonder  $\frac{1}{4} \lambda$ -plaat of met  $\frac{1}{4} \lambda$ -plaat op non-actief;
  - hoofdspansingsvlakken - modelpunt onder  $45^\circ$ ;
  - 2e  $\frac{1}{4} \lambda$ -plaat met hoofdvlak evenwijdig polarisatorvlak.
- Al deze elementen staan bij de meting geblokkeerd ten opzichte van elkaar. Alleen de analyser wordt ten opzichte van hen gedraaid. Zie schets 1.



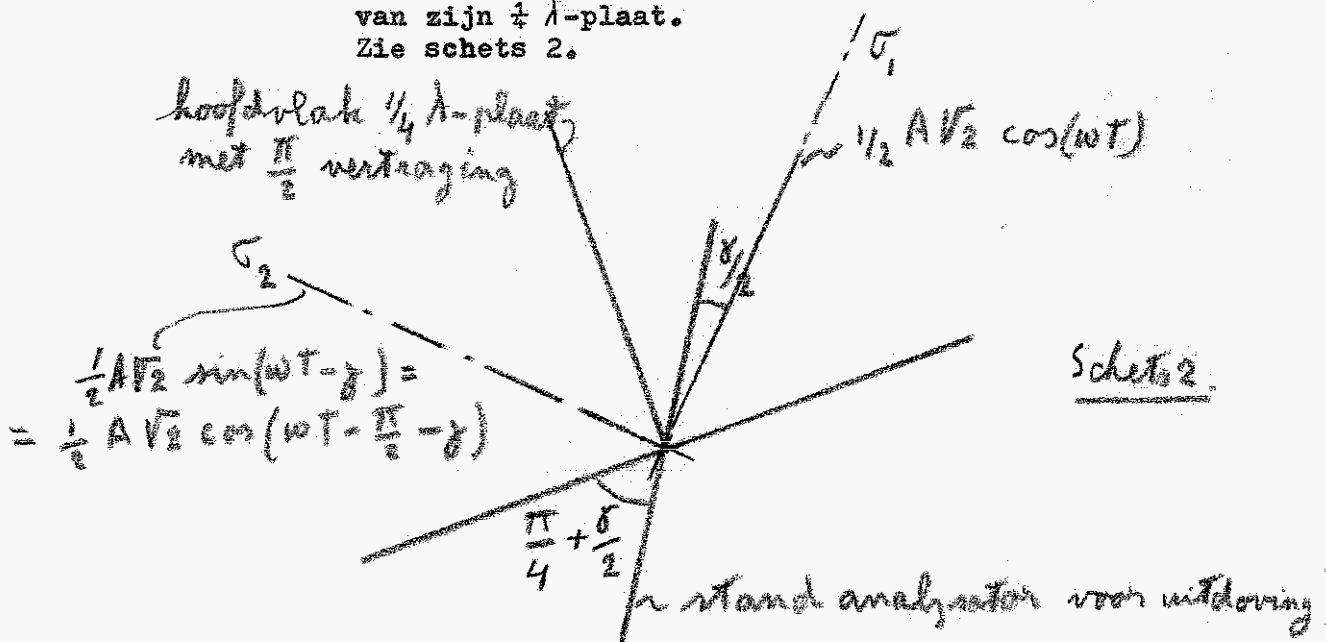
Schets 1.

B. Door circulair gepolariseerd licht op het modelpunt te werpen, hetgeen betekent, dat langs één hoofdas van dit modelpunt  $\frac{1}{2} A \sqrt{2} \cos(\omega t)$  invalt en langs de andere  $\frac{1}{2} A \sqrt{2} \sin(\omega t)$ . Deze laatste krijgt in het modelpunt de vertragingshoek  $\gamma$ . Ook nu staat de  $\frac{1}{4} \lambda$ -plaat van de analysator met z'n hoofdvlakken onder  $45^\circ$  met de hoofdvlakken van het modelpunt.

Omdat we voor  $\sin(\omega t - \gamma)$  kunnen schrijven

$\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2} - \gamma\right)$  stemt alles met het vorige geval overeen, alleen het vlak van de analysator moet nu gesteld worden op een hoek  $\frac{\pi}{4} + \frac{\gamma}{2}$  met de hoofdas van zijn  $\frac{1}{4} \lambda$ -plaat.

Zie schets 2.



Voor nauwkeurig werk heeft deze methode het nadeel, dat aan de  $\frac{1}{4} \lambda$ -platen een hoge eis van precisie moet worden gesteld, zowel wat betreft de stand van de hoofdassen in de verschillende punten van de plaat, als wat betreft de vertragingshoek in die verschillende punten. Methode A heeft het voordeel boven B, dat slechts met één  $\frac{1}{4} \lambda$ -plaat wordt gewerkt. Het is echter de vraag of deze éne plaat van voldoende nauwkeurigheid kan worden verkregen.

Bij methode A wordt dan als volgt gewerkt:

Met weggedraaide  $\frac{1}{4} \lambda$ -platen wordt eerst de stand van de hoofdvlakken in het punt van het model bepaald: door gezamenlijke rotatie van het gekruist ten opzichte van elkaar opgestelde stelsel van polarisator en analysator wordt de isoklien over de afbeelding van het modelpunt gebracht. Daarna wordt dit stelsel over een gefixeerde hoek van  $45^\circ$  gedraaid en de  $\frac{1}{4} \lambda$ -plaat van de analysator in het optisch systeem gedraaid, echter niet in de stand die deze  $\frac{1}{4} \lambda$ -plaat voor de opstelling voor circulair gepolariseerd licht ten opzichte van de analysator inneemt, maar  $45^\circ$  gedraaid: de hoofdvlakken van deze  $\frac{1}{4} \lambda$ -plaat zijn nu dus evenwijdig aan de polarisatie vlakken van polarisator en analysator.

De meting van de onderdelen van de orde wordt nu gedaan door alleen de analysator te draaien en alle andere delen vast te laten staan. Op de afbeelding van het modelpunt ziet men dit doordat het stelsel van isochromaten verschuift en één daarvan over het modelpunt gaat lopen.

Methode B heeft het voordeel, dat de  $\frac{1}{4} \lambda$ -platen gebruikt worden in de stand die ze normaal voor het werken met circulair gepolariseerd licht innemen. Na het bepalen van de richting van de hoofdvlakken van het modelpunt met behulp van lineair -gepolariseerd licht is het niet nodig het stelsel over  $45^\circ$  te draaien: het in de juiste stand inbrengen van de  $\frac{1}{4} \lambda$ -platen is voldoende om klaar te zijn voor de tweede meting: het bepalen van het onderdeel van de orde.

### 3.2.2. Compensatie door een aparte compensator.

Alhoewel constructief het gebruik van de analysator wel aantrekkelijker is, zullen we waarschijnlijk voor precisie-metingen gedwongen zijn om met een aparte compensator te werken, omdat de  $\frac{1}{4} \lambda$ -platen onvoldoende nauwkeurig zullen blijken te zijn.

Deze compensator (bijv. een Berek) moet dan zo opgesteld zijn, dat hij met zijn hoofdassen onder een hoek van  $45^\circ$  meedraait met het gekruist ten opzichte van elkaar opgestelde, stelsel van polarisator en analysator en dat hij ook uit het stelsel gedraaid kan worden. Eerst wordt met weggedraaide compensator de richting van de hoofdspanningsvlakken van het modelpunt bepaald door de isoklien over het beeld van het modelpunt te laten vallen. Daarna wordt het stelsel, polarisator en analysator, over een hoek van  $45^\circ$  verplaatst en de compensator in het optische systeem gedraaid. Door een parallel-geleiding wordt de compensator naar het te meten punt gebracht. Deze parallel-geleiding moet zuiver werken, zodat het O-vlak van de compensator altijd zuiver loodrecht op de optische as staat. Eventueel moet er ook een mogelijkheid zijn om de compensator over  $90^\circ$  te draaien. Door het draaien van de compensator wordt nu de isochromaat over het beeldpunt van het te meten modelpunt gebracht.

### 3.3. Stralengang van het licht.

De bijbehorende tekening brengt de stralengang van het licht in beeld. Of volstaan kan worden met een C.S. kwiklamp van 150W of dat overgegaan moet worden op de nog nauwelijks verkrijgbare 500W C.S. kwiklamp, moet nog nader aan de hand van proeven worden vastgesteld.

### 3.4. Oriënterende proeven.

Voor de keuze van de mechanische constructie is het van groot belang te weten, welke nauwkeurigheidseisen zinvol zijn. Deze worden in de eerste plaats bepaald door de kwaliteit van de te gebruiken polaroid filters en  $\frac{1}{4} \lambda$ -platen.

Wat betreft de polaroïd filters moeten we in de eerste plaats weten of de richting van polarisatie in een bepaald punt van het filter voldoende scherp te meten is en of de voor de diverse punten van het filter gevonden polarisatie-richtingen onderling voldoende parallel lopen.

Vraag: Zijn we er zeker van dat de polaroïd filters zelf geen dubbelbrekende eigenschappen bezitten, of moeten we ook daarover oriënterende metingen doen?

Wanneer we het gebruik van  $\frac{1}{4} \lambda$ -platen als hulpmiddel voor de metingen niet a priori uitschakelen zullen we ook de  $\frac{1}{4} \lambda$ -platen moeten doormeten en daarvan bepalen of voor de verschillende punten van de plaat onderling:

- a) de hoofdassen van de dubbele breking voldoende parallel lopen;
- b) de retardatie voldoende constant is.

### 3.5. Mogelijkheid van exactere snelle meting.

Voor het verkrijgen van hoge precisie in het meetresultaat moeten we monochromatisch licht gebruiken en zorgen dat de afbeeldingen zo zuiver en scherp mogelijk zijn.

Een moeilijkheid blijft echter de aflezing van de photocel. We moeten immers constateren dat voor een bepaalde stand van de meetapparatuur de photocel een minimum waarde aanwijst. Voor een suggestie voor een vereenvoudiging van de meting van die minimum waarde beschouwen we het verloop van de meting.

Er worden 2 metingen gedaan n.l. :

- a) bepaling van de stand van de hoofdassen; hierbij wordt het optisch stelsel gedraaid met als resultaat dat de isoklien zich verplaatst over het van het model gevormde beeld;
- b) bepaling van het onderdeel van de orde; ook hierbij wordt iets versteld aan het optisch apparaat met als resultaat dat de isichromaat zich over het van het model gevormde beeld verplaatst;

in deze beide gevallen beweegt zich dus in het beeld van het model een donkere lijn en is het doel van de meting : de stand van de apparatuur te bepalen waarbij deze lijn midden over het beeld van het te onderzoeken modelpunt loopt.

We kunnen met twee zeer kleine fotocellen werken, die diametraal tegenover elkaar op onderlinge gelijke stralen (waarvan de grootte gevarieerd kan worden) draaibaar opgesteld zijn ten opzichte van het beeld van het te onderzoeken modelpunt. De grootte van de stralen en de stand van de twee cellen in het beeldvlak wordt nu respectievelijk gekozen naar de aard en de richting van de donkere lijn in het beeldvlak. De juiste instelling wordt gevonden als de beide fotocellen dezelfde waarde aangeven. Electronisch is voor dit laatste waarschijnlijk een scherpe indicatie te geven.

3.6. Maken van de modellen.

De panthograaf freesmachine wordt gebuikt, omdat het voor het vermijden van randspanningen nodig is om een frees te gebruiken met zo klein mogelijke diameter (liefst een tandartsfrees) of een ander gereedschap van kleine diameter ( een ingespannen zaagje). Alle afrondingen worden dus eerst zuiver in een 3 mm. dik messing model gemaakt en door de panthograaf worden de vormen zuiver op het model overgebracht.

4. Literatuur.

Ir Geerlings noemde nog het boek van Kuske: "Einführung in die Spannungsoptik", Wissenschaftliche Verlags Gesellschaft Stuttgart; uitgegeven in 1959.

Eindhoven, 9 juni 1960

  
dr ir J. Bergmans.