

# Astronomische Spitzentechnik im physikalischen Schauversuch

## Leopold Stadler

Begonnen hat die Geschichte mit der Lektüre eines interessanten Artikels im Spektrum der Wissenschaft (März 2008), am Ende stand ein ungewöhnlicher Demonstrationsversuch bei meiner traditionellen Versuchsvorführung im Rahmen der Fortbildungswoche 2010.

Der Artikel „*Die Renaissance der flüssigen Teleskopspiegel*“<sup>(1)</sup> beschreibt die alte Idee, die Oberfläche einer Flüssigkeit, welche mit konstanter Winkelgeschwindigkeit um eine senkrechte Achse rotiert, als Parabolspiegel für ein astronomisches Instrument zu benutzen. Natürlich ist dabei wegen seines hohen Reflexionsvermögens Quecksilber die erste Wahl.

Dem Artikel entnehme ich folgende Angaben über historische Vorläufer zur Verwirklichung dieser Idee:

- Die erste schriftliche Erwähnung stammt von Ernesto Capocci, 1850, Astronom am Observatorium zu Neapel.
- Erste experimentelle Verwirklichung 1872 durch Henry Skey vom Dunedin Observatorium in Neuseeland. Spiegeldurchmesser 35 cm – über erzielte Bilder ist nichts bekannt.
- Ein verbessertes Exemplar enthielt eine flache Quecksilberschüssel von 51 cm Durchmesser und es konnte ein Doppelsternsystem von 2,3 Bogensekunden auflösen, (was etwa 1/10 der theoretischen Beugungsgrenze darstellt:

$$2,3'' = 1,11 \cdot 10^{-5} \text{ rad}; \quad \frac{\lambda}{D} \approx \frac{0,5 \mu\text{m}}{510 \text{ mm}} = 1,1 \cdot 10^{-6}$$

Abgesehen vom Kampf mit erheblichen mechanischen Problemen (extrem ruhiges Lager, hohe Konstanz der Drehgeschwindigkeit) führten diese Versuche in eine Sackgasse: Da die Spiegelachse immer senkrecht stehen muss, ist ein solches Teleskop ein reines Zenith-Instrument; überdies gestattet es mangels Nachführung keine längeren Belichtungszeiten. Daher verschwanden diese Fernrohr-Exoten für über 70 Jahre aus dem Instrumentenbau. Erst ab 1982 erkannte man, dass mittels digitaler CCD-Technik das Problem der Bild-Drift lösbar sein sollte; 1 bis 2 Minuten Belichtungszeit sind dabei typisch.

Heute ist die Entwicklung bei 6 Meter – Flüssigspiegeln angelangt, deren Auflösungsvermögen ans Limit dessen reicht, was die Beugungstheorie als Grenze setzt ( $\Delta\varphi \approx 0,02''$ ).

### Nun wollte ich unbedingt wissen

- a) gelingt es, mit „Hausmitteln“ ein herzeigbares Bild herzustellen?
- b) wie gut stimmt die Brennweite des Hohlspiegels, welche sich aus Bild- und Gegenstandsweite ergibt, mit dem Wert überein, der sich aus dem Gleichgewicht in Abhängigkeit von der Drehzahl errechnet?

Beide Ziele wurden erreicht und ich kann Näheres über diesen Versuch berichten.

Vorerst eine mathematische Vorbereitung zu Punkt b) (Abb. 1)

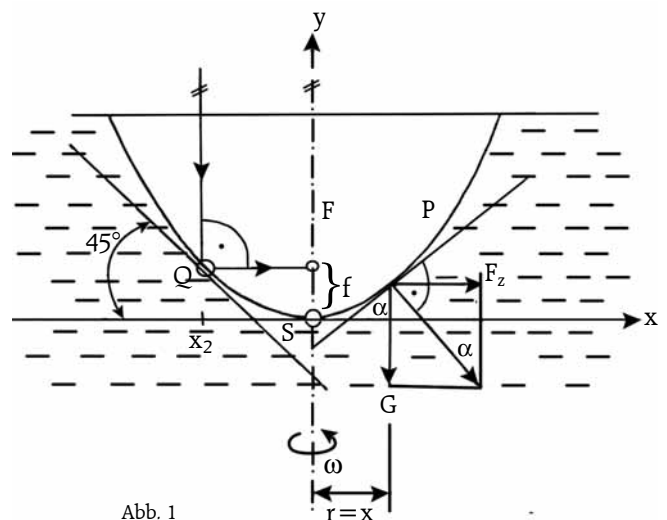


Abb. 1

Gleichung der Parabel:  $y' = \tan \alpha = \frac{F_z}{G} = \frac{m \cdot \omega \cdot x}{m \cdot g}$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\omega^2}{g} \cdot x \quad | \int \quad (1)$$

$$y = \frac{\omega^2}{2g} \cdot x^2 + K, \quad K = 0$$

$$F(x) = \frac{\omega^2}{2g} \cdot x^2 \quad (2)$$

Brennweite  $f = \overline{SF}$  z.B. über den achsenparallelen Lichtstrahl, der von Q (mit  $\tan \alpha = -1$ ) um  $90^\circ$  nach F reflektiert wird (T = zu messende Dauer einer Umdrehung):

$$Q(x_Q, f), \quad F'(x_Q) = \tan 135^\circ = -1, \quad \frac{\omega^2}{g} \cdot x_Q = -1, \quad x_Q = -\frac{g}{\omega^2}$$

$$f = F(x_Q) = \frac{\omega^2}{2g} \cdot \left(-\frac{g}{\omega^2}\right) \Rightarrow f = \frac{g}{2\omega^2} = \frac{g}{8} \cdot \left(\frac{T}{\pi}\right)^2 \quad (3)$$

OStR. Mag. Leopold Stadler, ehemaliger Physiklehrer an der HTL 16 Wien

Erwartungsgemäß musste ich jene Schwierigkeiten bekämpfen, von denen die Pioniere der Flüssigkeitsteleskope berichten. Solcherart vorgewarnt benützte ich nicht Quecksilber – schon wegen seiner Anfälligkeit bei geringster Erschütterung in Form von Kräuselung der Oberfläche. Stattdessen ist das zähe Glyzerin zu empfehlen, trotz der starken Einbuße an Bildhelligkeit. Aus Formel (3) errechnet man, dass für Brennweiten, welche ein großes Bild im Physiksaal ermöglichen, Umdrehungsdauern von 1 bis 2 Sekunden in Frage kommen.

**Erste Voraussetzung:** Ein Experimentiermotor, der sehr ruhig läuft, in diesem kleinen Drehzahlbereich fein regelbar ist und die Winkelgeschwindigkeit sehr konstant hält.

**Zweite Voraussetzung:** Das Gefäß muss absolut rund laufen, optimal ist ein Exemplar „in einem Stück von der Drehbank“ gefertigt.

Glücklicherweise besitzt unsere Physiksammlung eine Aluminiumdose, welche samt Stiel aus einem Stück gefertigt ist; unsere Dreherei hat sie nach meiner Skizze für den Versuch „Interferenzen an einer rotierenden Seifenlamelle“ hergestellt (Abb. 2).

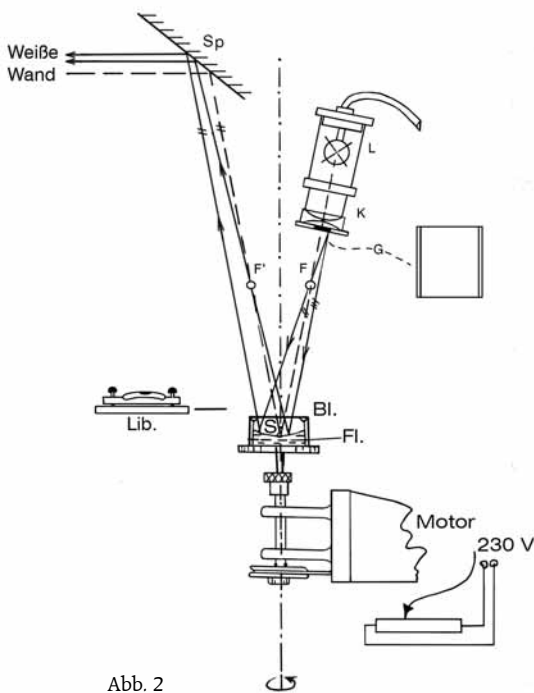


Abb. 2

Sie ist innen mit schwarzem Samt ausgekleidet, besitzt 6 cm Öffnungsdurchmesser und hat sich für diesen Spiegelversuch bestens bewährt. Ein Umlenkplanspiegel Sp sorgt dafür, dass das Bild bequem sichtbar an der weißen Wand erscheint. Experimentiermotor inklusive Dose, Leuchte mit Gegenstand, sowie der Umlenkspiegel sind auf einem Stativ mit schwerem Fuß aufgebaut. Um die Drehzahl fein regeln zu können, habe ich dem Potentiometer noch einen 11 Ohm-Schiebewiderstand zugeschaltet. Weiters:

- Zur Stabilisierung des Paraboloids muss die Drehachse genau senkrecht stehen.
- Um die Gegenstandsweite mm-genau darzustellen, benützte ich einen dünnen Holzstab, der – an die F-Scha-

blone angelegt – die Flüssigkeit in der Mitte berührte.

- Eine Marke am Mantel der Dose erlaubt es, die Umdrehungsdauer bequem per Handstoppuhr zu messen.
- Das Bild ist gut, aber recht lichtschwach – daher war der Saal ganz zu verdunkeln

## Erfolge

1. ein „neues Scharfstell-Gefühl“: Der Schiebewiderstand und damit die Drehzahl wird geregelt, bis das Bild scharf ist. Man beachte, dass hier ein Parabolspiegel mit stetig veränderlicher Brennweite vorliegt.
2. Das Bild wird erstaunlich scharf, sogar die Körnung des Transparentpapiers ist zu erkennen. Allerdings schwankt die Bildscharfe um dieses Optimum – die Winkelgeschwindigkeit müsste noch besser konstant sein.

### 3. Quantitative Prüfung:

Gegenstandsgröße G = Höhe der „F“-Schablone = 20 mm

Gegenstandsweite g = 22,8 cm

Bildweite b = S Sp + Sp Wand = 193 cm

$$f = \frac{b g}{b + g} = 20,4 \text{ cm} \quad \text{oder:}$$

$$\text{Höhe des Bildes } B = 170 \text{ mm} \Rightarrow v = \frac{B}{G} = \frac{170}{20} = 8,5$$

$$f = \frac{b g}{b + g} = \frac{b}{v + 1} = \frac{193 \text{ cm}}{9,5} = 20,3 \text{ cm}$$

andererseits: Handstoppung über 30, 40, 50 Umdrehungen ergibt  $T = 1,283 \text{ sec}$ . Aus (3) folgt

$$f = \frac{9,81 \text{ m}}{8 \text{ s}^2} \cdot \left(\frac{1,283 \text{ s}}{\pi}\right)^2 = 20,45 \text{ cm}^2$$

Übrigens ist die Mulde des Spiegels nur 1,1 mm tief.

Aufgrund meiner Erfahrungen bei der Entwicklung des Versuches kann ich erst recht die Leistungen bewundern, welche bei der Entwicklung des 6m-Hg-Spiegels vollbracht wurden. In dem zitierten Artikel erfahren wir unter anderem:

- Mechanische Lager ermöglichen keinen hinreichend ruhigen Lauf: ein reibungsfreies Lager mit Druckluft trägt den 3 t – Spiegel
- Die Drehgeschwindigkeit muss besser als  $10^{-6}$  stabil sein. Das wird erreicht mit einem Motor, der über einen optischen Impulsgeber mit 2500 Signalen pro Umdrehung gesteuert wird ( $T = 9 \text{ sec}$ ,  $f = 10 \text{ m}$ ).
- Über einem Leichtbaugerüst liegt eine mehrschichtige Schale, zu oberst eine Schicht aus Epoxiharz, das bei der richtigen Drehzahl erstarrt ist.
- Erst darauf bilden 40 l Quecksilber eine etwa 1,5 mm dicke reflektierende Schicht.

Die Kosten eines solchen Spiegels betragen nur etwa 1/10 eines gleichgroßen konventionellen Glas-Spiegels.

2) für diese Messwerte gibt es über 50 Zuseher als Zeugen