

Die Spiegelfertigung



- [Versilberte Spiegel](#)
- [Newton und die Bronze](#)
- [Auf die Mischung kommt es an](#)
- [Eigene Analysen des Autors](#)
- [Die Spiegel von Lilienthal](#)
- [Polieren, schleifen, polieren, schleifen . . .](#)
- [Zwischenprüfung](#)
- [Fazit](#)

Versilberte Spiegel

Bevor mit der Vakuumtechnik reflektierende Schichten wie Aluminium auf geschliffene Teleskopspiegel aus Glas aufgedampft werden konnten, war im 19. Jahrhundert die chemisch-mechanische Oberflächen-Verspiegelung mit einer Silberschicht eine Zeit lang eine Alternative zu den im 18. und 19. Jahrhundert gebräuchlichen Spiegel aus einer Metall-Legierung.

Die Silberschicht oxydierte jedoch schnell an der offenen Luft, so dass das Verfahren nur für kleinere und meist im Amateurbereich benutzte Spiegel im Gebrauch war.

Die Teleskopspiegel aus Metall waren aus einer Bronze-Legierung gefertigt, in die die Form einer Kugelkalotte bzw. eines Rotationparaboloids eingeschliffen und einpoliert wurde (sog. Hohlspiegel).

Newton und die Bronze

Das Erschmelzen einer Bronze-Legierung geht auf alte Kulturen lange vor der Zeitrechnung zurück. Als Isaac Newton seinen ersten Hohlspiegel schliff, konnte er auf ein breites Spektrum von Erfahrungen und Traditionen zurückgreifen. Vor ihm hatten schon andere Physiker und Astronomen mit unterschiedlichem Erfolg versucht, brauchbare Fernrohrspiegel herzustellen.

Newton bevorzugte eine Mischung von 67% Kupfer, 22% Zinn und 11% Arsen. Die Arsenzusätze, die auch bei den in Lilienthal gefertigten Teleskopspiegeln angewandt wurden, waren besonders kritisch, weil Arsen bei 615 Grad Celsius verdampft und extrem giftige Dämpfe frei setzt.

[Nach oben >>](#)

Auf die Mischung kommt es an

Die Liste der gebräuchlichen Beimengungen ist groß. Silber, Antimon, Zink, Bismut, Nickel und Blei wurden in Proben gefunden. Viele Komponenten waren aber natürliche Bestandteile in den Kupferminen, so dass sie explizit gar nicht in den Aufzeichnungen der Spiegelhersteller erwähnt werden. Sie dienten in der Hauptsache dazu, der Oberfläche möglichst eine helle Farbe zu geben, damit man neutrale und keine farbigen Abbildungen bekam. Einige Mischungen waren auch bezüglich der Oxydation weniger anfällig. Bis in das 20. Jahrhundert hinein wurde nicht richtig verstanden, was bei einer Mischung von Kupfer und Zinn metallurgisch passiert. Die Abhängigkeit von der Temperatur bei

unterschiedlichen Mischungsverhältnissen und Beimengungen beeinflusst die kristalline Struktur des Materials, die sich in Sprödigkeit, Härte, Polierfähigkeit und Reflexionsgrad niederschlägt.

Oft kam es zu makrokristallinen Strukturen, aber nicht zu homogenen Mischungen (sog. Eutektikum). Viele auch bereits im Gebrauch befindliche Exemplare brachen oder bekamen Spannungsrisse.

Auch die Porigkeit des Materials, die auf die Oxydation des Zinns bei der Schmelze zurückgeht, konnte Probleme bei der Spiegelpolitur machen und zu Schleifspuren führen. Diese streuen das Licht und vermindern den Kontrast des beobachteten Objektes. Weniger polierfähige Spiegel wurden aussortiert und eingeschmolzen.

So hatten die Spiegelhersteller meist ihre eigene Mischung, die durch langfristige Versuche ermittelt wurden.

Im Jahre 1777 veröffentlicht John Mudge in England nach zahllosen Versuchen in den *Philosophical Transactions* eine Anleitung über die Zusammensetzung des Spiegelmaterials, über den Schliff und die Politur von Metallspiegeln für die Astronomie und deren optische Prüfung, die zumindest als Richtlinie für eigene Versuche wichtig war. William Herschel



Rasteranalyse des Spiegels 27-Fuß-Teleskop

fertigte danach seine Spiegel und die britische Royal Society zeichnete Mudge mit der höchsten ihrer Ehrungen für die Wissenschaft, der Copley-Medaille, aus.

[Nach oben >>](#)

Eigene Analysen des Autor

Die vom Autor in Auftrag gegebenen Analysen von Herschel-Spiegeln des Mathematisch-Physikalischen Salons in Dresden haben folgende metallurgische Zusammensetzung ergeben: 82% Kupfer, 18% Zinn, kein Arsen; die von einem Herschel-Spiegel der Sternwarte in Tartu (Estland) enthält jedoch bis zu 4% Arsen.

[Nach oben >>](#)

Die Spiegel von Lilienthal

Die unterschiedlichen Ergebnisse belegen, dass die Spiegelkompositionen sicher nicht homogen waren und nicht alle Komponenten, wie z.B. das Arsen, vollständig gelöst wurden. Schroeter spricht vom Abdampfen des Arsens! Das kann heißen, dass Arsen in der Schmelze verdampft ist und deshalb zum Teil ungelöst in der Legierung vorhanden ist.

Immerhin hat es noch gereicht, um den Schrader-Spiegeln (J.G.F. Schrader war 1792/92 für ca. ein Jahr in Lilienthal, hat eine Spiegellegierung entwickelt und zahlreiche Teleskopspiegel



Spiegelbild 4Fuß Schrader Spiegel

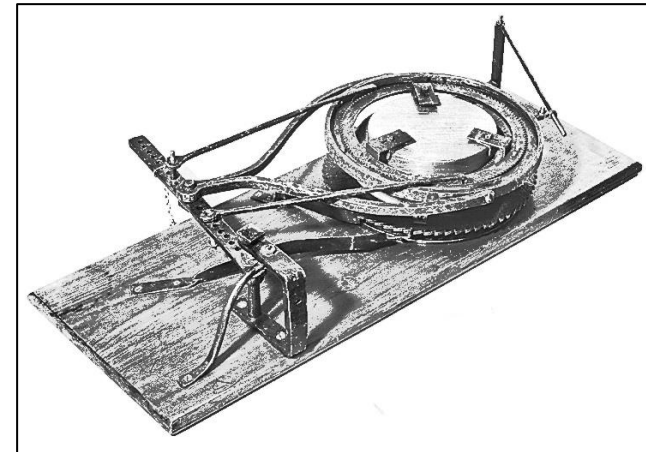
gegossen und geschliffen) den unvergleichbar hellen Glanz und die nach mehr als 200 Jahren noch hervorragende Politur zu geben. Es kann deshalb vermutet werden, dass Schrader auch Platin(a), eine Mischung aus Platin- und Silbererzen, verwendet hat, da z.B. der in Dänemark befindliche Schrader-Spiegel eines 4-füßigen Teleskops keine Oberflächenoxydation zeigt. Die Reflexion lag für übliche Bronzespiegel bei ca. 65%, bei Schrader/Schroeter-Spiegeln bei ca. 70 bis 75%.; das Beugungsbild hatte je nach Parabolisierungsgrad ringförmig zonale Helligkeitsstufen.

[Nach oben >>](#)

Polieren, schleifen, polieren, schleifen . . .

Wie wurden die Spiegel bearbeitet? Zwei gleich große runde Scheiben werden durch allerlei Dreh- und Schiebewegungen unter der Zugabe von unterschiedlich grobem Schleifmaterial solange bearbeitet, dass die der Brennweite entsprechende Krümmung entsteht. Bei diesem Vorgang wird die obenliegende Scheibe mittig ausgehöhlt (konkav), während die unten liegende Scheibe konvex nach Außen abgetragen wird. Der

Poliervorgang geschieht auf die gleiche Weise; jedoch wird bei der Feinpolitur mit Poliermittel, bei Korrekturen und bei der Parabolisierung auf einem konkaven Pechkörper



Herschel-Schleifmaschine

(mit Rillen) gearbeitet.

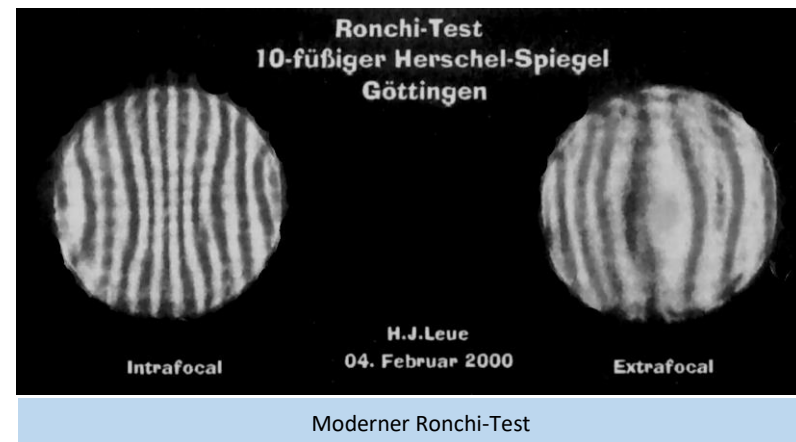
Schleif- und Poliervorgänge waren ungemein zeitraubend, da der Schliff von Metall ca. 10mal länger dauert als der von Glas! Frühzeitig wurden Schleifmaschinen eingesetzt, jedoch mussten auch diese mit der Hand bewegt werden. Bei großem Spiegel von 50 Pfund und mehr, sicher eine schweißtreibende Arbeit!

[Nach oben >>](#)

Zwischenprüfung

Während der Schleifarbeit muss immer wieder die Tiefe des angehenden Spiegels geprüft werden, um die gewünschte Brennweite zu erhalten, bzw. die polierte Oberfläche auf ihre optische Qualität. Angestrebt wurde ein Rotationsparaboloid; denn nur eine Parabel vereinigt die einfallenden Strahlen in einem Punkt.

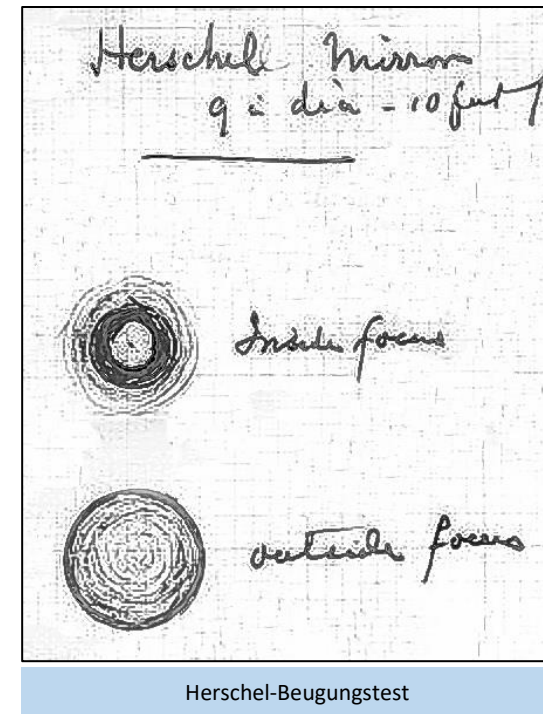
Bei den kleinen damals üblichen Öffnungsverhältnissen genügte jedoch schon ein guter „Kugelspiegel“. Der optische Test kann heute auf die Schnelle mit einem Interferenztestverfahren (Ronchi-Test) bewerkstelligt werden, der damals noch nicht bekannt war. Hadley hat jedoch bereits im Jahre 1738 den von ihm entwickelten aber später nach dem französischen Optiker Foucault benannten Test zur optischen Prüfung eingesetzt. Es kann



vermutet werden, dass der große englische Fernrohrbauer Short (Short-Teleskop) das Prüfverfahren benutzte, weil seine Spiegel von gleichmäßig hoher Güte waren. Schroeter und Schrader, wie auch Lichtenberg oder Brander, und scheinbar damals auf dem Kontinent üblich, benutzten noch die segmentale Prüfung der Spiegel, bei der mit verschiedenen Ringblenden über ein Okular im bereits fertig gestellten Fernrohrtubus beobachtet wurde, ob sich das entfernt eingestellte Objekte bei den unterschiedlichen Blenden gleichmäßig scharf abbildete. Nur dann war die Parabel erreicht!

Es gab offenbar viele „Ausreißer“ unter den produzierten Spiegeln. Zwei von drei untersuchten Herschel-Spiegeln haben Zonenfehler, die bei der Politur zum Teil noch mit verschiedenen Schablonen hätten korrigiert werden können. Sog. Abgesunkene Kanten – dabei hält die Spiegelkurve am äußeren Spiegelrand nicht mehr die parabolische Krümmung ein – wurden durch ringförmiges Abblenden des Spiegels korrigiert.

[Nach oben >>](#)



Fazit

Metallspiegel für Fernrohre zu produzieren, war insgesamt ein anspruchsvolles Unternehmen, da die gesamte Palette mit Gieß-, Schleif und Prüfeinrichtung vorgehalten werden musste. Zuweilen wurde der Rohling in einer professionellen Gießerei hergestellt, aber zum Schliff musste man mehr als handwerkliches Geschick haben.

Das Handling bei und während der Beobachtung war aufwendig. Metallspiegel beschlagen sehr schnell und die kleineren wurden deshalb nach der Beobachtung ausgebaut und im Hause in einer speziellen Box aufbewahrt.

Ihre Säuberung musste mit großer Vorsicht erfolgen, um ein Nachpolieren mit ungewissem Einfluss auf die optische Qualität möglichst zu vermeiden.

[Nach oben >>](#)

Text Hans-Joachim Leue, Januar2018