

Die Teleskopgabel

Die Form der Gabel und die Anordnung der Rippen im Inneren ist vom Konstrukteur R. Pressberger auf die auftretende Belastung gerechnet und optimiert und darf nicht abgeändert werden. Die Gewichtsverteilung der Gabel ist ebenso wichtig, das wird unten näher erklärt. Vergessen Sie daher andere kopplastige Konstruktionen, die angeblich mit „finiten Elementen“ optimiert worden sind, oder wollen Sie etwa eine „Stimmgabel“ bauen.



Inhaltsverzeichnis

Die Teleskopgabel.....	1
Inhaltsverzeichnis.....	1
Der Gabelkörper.....	1
Die Lagerelemente	2
Deklinationsachse	2
Rektaszensionsachse	2
Das Geheimnis der Pressberger'schen Ein-Kugel-Lager	3
Fertigung der Ein-Kugel-Lager	4
Der Polblock	4
Einstellelemente zur Nordung.....	5
Das Ergebnis	6

Der Gabelkörper

Um die notwendige Steifigkeit zu erreichen, wird die Gabel aus Schwarzblech von 5mm Wandstärke gefertigt. Man zeichnet die einzelnen Blechteile im Maßstab 1:1 mit einem CAD-Programm auf und brennt die Zeichnungen im *.dxf-Fileformat auf CD. Im Stahlhandel gibt es Firmen, die auf den Zuschnitt und die Lieferung von Stahlblech spezialisiert sind. Diese Firmen arbeiten mit Schneidautomaten auf Schneidbrenner, Laser- oder Wasserstrahlbasis und können beliebige Schnittformen genau und kostengünstig ausführen. Dabei kommt es kaum zu Verwerfungen des Materials. Grundlage für den Lieferauftrag ist die CD mit den Zeichnungen, gegen Aufpreis sind aber auch Pläne in Papierform verwendbar. Unser Lieferant war die Firma TECHNOSTAHL in Wien. Die Schnitte werden mit einer Genauigkeit bis 0.1mm hergestellt. Mengenmäßig ist die ganze Stahlplatte zu bezahlen, die Schnittabfälle werden auf Wunsch mitgeliefert. Natürlich kann man auch den Schlosser vor Ort damit beauftragen, vermutlich wird es dann bei der erwünschten Präzision schon etwas teurer.



passgenau geschnittene Blechteile mit 5mm Wandstärke werden von innen heraus zusammengeheftet



Abschleifen mit Winkelschleifer Die inneren Aussteifungsrippen sind bei noch fehlendem Deckblech hier sichtbar



Die fertige Gabel mit den Gabelköpfen und abgeschliffenen Schweißnähten

Die gelieferten Bleche können ohne Nachbearbeitung passgenau zusammengestellt und verschweißt werden. Man beginnt bei der Bodenplatte und den beiden senkrechten Blechen der Gabelinnenseite. Danach kommen die gabelförmigen Bleche der beiden Seiten. Zunächst wird alles nur leicht mit einzelnen Schweißpunkten (MIG-Schweißgerät) zusammengeheftet. Man setzt nun das obere Abdeckblech und die inneren Versteifungsrippen ein. Sobald alles in Form gebracht wird kann die Zahl der Schweißpunkte erhöht werden. Wieder versucht man

dabei die entstehenden mechanischen Spannungen durch setzen von einzelnen einander gegenüberliegenden Schweißpunkten zu kompensieren.

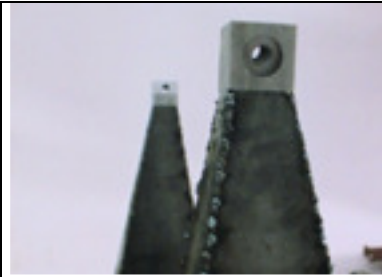
Die Lagerelemente

Deklinationsachse

Dort wo bei konventioneller Konstruktion die großen Lagerböcke für die Deklinationswälzlager angeschraubt werden, tragen die beiden Gabelspitzen kleine aber massive eiserne Gabelköpfe mit schrägen



Gabelkopf (man beachte die Schrägbohrung) und Lagerbolzen (noch ohne Gewinde) mit angeschweißter Lagerkugel.



Ausrichten der Gabelköpfe. Man sieht die unbehandelten MIG-Schweißpunkte an der Gabel



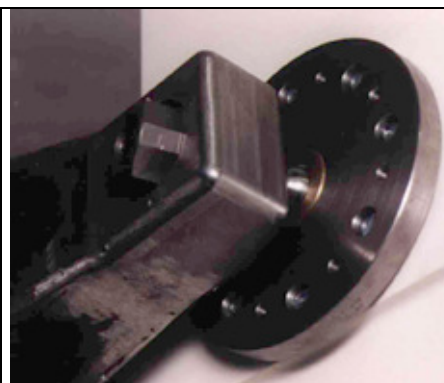
Das fertige Deklinalionslager beim Testaufbau

Feingewindebohrungen zur Aufnahme der Deklinationslagerzapfen. Die schräge Anordnung der Lagerzapfen in den Gabelköpfen erscheint auf den ersten Blick vielleicht absurd. Auf den zweiten Blick erkennt man hiermit eine geradezu geniale Justiermöglichkeit zur Minimierung des Orthogonalitätsfehlers zwischen den Antriebsachsen. Die Gabelköpfe werden auf der Fräsbank hergestellt. Man sollte die Außenflächen der Gabelköpfe auch abfräsen, um Messflächen zum anlegen von Stahllinealen zu erhalten. Dadurch wird das Ausrichten der Gabelköpfe beim anschließenden Anschweißen an die Gabel erleichtert. Die Anforderungen an die Genauigkeit sind eher gering und nur dadurch bestimmt, daß eine gegenüber der Gabel verdrehte, also seitlich schräggestellte Deklinationsachse auch einen schräggestellten Antriebszapfen des Reibradantriebes notwendig macht. Auf die mechanischen Anforderungen bei einem Reibradantrieb hinsichtlich der Präzision werden wir in einem späteren Kapitel noch näher eingehen. Eine entsprechende Justiermöglichkeit für den Antriebszapfen ist jedenfalls vorhanden.



Das Delta-Lager am fertigen Teleskop

Man sieht die Stromzuführung zum Tubus



Delta-Lager beim Testaufbau

Lagerzapfen mit Lagerkugel, Lagerbuchse (Messing) und Justierscheibe

Rektaszensionsachse

Die klassische Rektaszensionsachse mit den beiden großen Wälzlagern und dem oft zitierten "Durchmesser", von dem man sagt „je größer desto besser“, gibt es hier gar nicht. Die Lagerung ist aufgeteilt in ein kleines **Traglager**, welches das ganze Gewicht aufnimmt und ein großes Definitionslager, welches die Achsrichtung bestimmt und zugleich das Antriebsdrehmoment überträgt. Um die Reibung durch die Gewichtslast zu verringern ist es möglichst klein ausgeführt, die Größe ergibt sich aus der noch vertretbaren

Materialbeanspruchung. Wegen der schweren und massiven Gabelbasis gelangt der Schwerpunkt von Gabel+Tubus in die Nähe des Traglagers. Das ist ein wesentliches Detail der Pressberger'schen Konstruktion: Die bei konventionellen Gabelmontierungen nachteilige starke Kragbelastung der Stundenachslagerung wird somit vermieden. Das verbleibende Kraglastmoment wird zur Aufbringung des Reibrad-Anpressdruckes sinnvoll genutzt. Ein Spiel der gesamten Achslagerung wird konstruktiv bedingt, von vornherein ausgeschlossen.



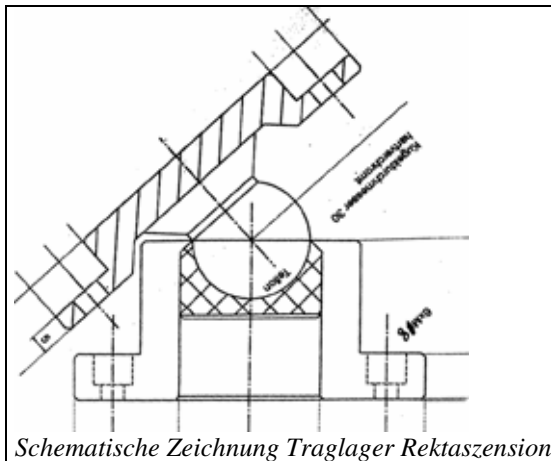
Der Lagerzapfen des Traglagers (seine Herstellung ist weiter unten beschrieben) wird an eine 1cm starke quadratische Eisenplatte geschraubt, die in das obere Deckblech der Gabel eingelassen ist. Hierrauf ruht praktisch das gesamte bewegte Teleskopgewicht. Damit der Lagerzapfen trotz Schraubverbindung fest genug sitzt, ist er zur Eisenplatte hin mit einem Lagersitz versehen. Diesen Lagersitz und die rundherum befindlichen Gewindebohrungen für die Befestigungsschrauben kann man an der Gabel von außen sehen.

Das zweite Lager, das **Achsdefinitions-lager** wird durch die Lagerung des 50cm-Reibrades gebildet. Hier sind also Lagerung und Antriebselement in genialer Weise vereint und obendrein leicht und gut justierbar. Man spart sich so große und teure Wälzlager und das noch teurere Schneckenrad. Die Probleme mit der heiklen Justage eines Schneckengetriebes können erst gar nicht auftreten.

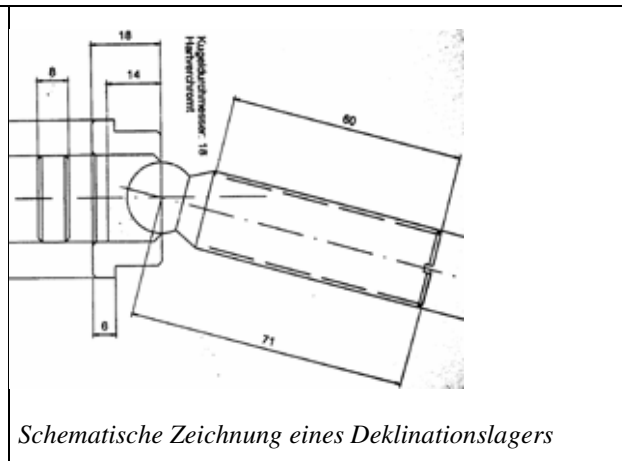
Das 50cm-Reibrad wird später an einen massiven Eisenring geschraubt, der mit dem Bodenblech der Gabel verschweißt ist. Dieser Eisenring sollte möglichst konzentrisch zum Traglager sein, damit die Gabel beim Drehen nicht sichtbar "eiert". Auf die spätere Positioniergenauigkeit hat das jedoch keinen Einfluss. Sollte sich der Eisenring beim Schweißen verziehen, so kann es sein, dass die beiden Passstifte zum Reibrad nicht mehr eingesetzt werden können. Man setzt die Bohrungen für die Passstifte daher besser nachher. Den Eisenring selbst läßt man (zusammen mit den Reibrädern, der Tubusflanschplatte und den Gegengewichtsringen) kostengünstig anfertigen.

Das Geheimnis der Pressberger'schen Ein-Kugel-Lager

Sowohl bei den beiden Deklinationslagern als auch beim Traglager der Rektaszensionsachse kommen hartverchromte Stahlkugeln zum Einsatz, die sich in einer halbkugelförmigen Pfanne aus Teflon drehen. Ein derartiges Lager erinnert an ein künstliches Hüftgelenk. Die Materialpaarung zwischen der harten Chromschicht und dem vergleichsweise weichen Teflon ergibt gerade bei hohem Anpressdruck geringste Reibungswerte. Die Kugel „schwimmt“ gewissermaßen im Teflon oder anders ausgedrückt, wegen ihrer Elastizität passt sich die Teflonpfanne exakt der Kugelform an. Das gerade beim Reibradantrieb unangenehme „Losbrechmoment“ verschwindet. Jedes noch so teure Wälzlager hat im Vergleich dazu ein spürbares Losbrechmoment und eine höhere Lagerreibung. Dazu kommen noch notwendige Maßnahmen zur Unterbindung eines Lagerspiels. Hier gibt es hingegen kein Lagerspiel. Die Lager sind jedoch keineswegs zu klein dimensioniert sondern exakt auf die Materialeigenschaften des Teflons abgestimmt.



Schematische Zeichnung Traglager Rektaszension



Schematische Zeichnung eines Deklinationslagers

Fertigung der Ein-Kugel-Lager

Stahlkugeln werden in fast jeder Größe für industrielle Zwecke gefertigt und sind über Spezialfirmen zu beziehen. Es werden nicht gehärtete Stahlkugeln, gerollt oder gedreht mit glatter Oberfläche aber ohne besondere Genauigkeitsanforderungen benötigt. Unser Lieferant war die Firma KUGEL-POMPEL in Wien. Die Lagerkugeln für die Deklinationslager haben einen Durchmesser von 2cm. Zweckmäßigerweise konnten wir Kugeln mit einer zentralen Sackbohrung erwerben, die Zentrierung zum Deklinationslagerzapfen wurde dadurch erleichtert. Die Kugel für das Traglager innerhalb der Gabel hat einen Durchmesser von 3cm. Dieser Durchmesser ist vollkommen ausreichend und auf die Festigkeit des Materials abgestimmt. Alle Kugeln wurden mit dem WIG-Gerät angeschweißt. Das Teflonmaterial für die Lagerschalen ist in Rundstangenform im Kunststoffhandel zu beziehen. Falls erhältlich, verwendet man faserverstärktes Teflon. Es hat wegen seiner höheren Festigkeit schwingungstechnische Vorteile. Die halbrunde Form der Lagerschalen wird mit Radiusfräsern von 2cm und 3cm Durchmesser auf der Drehmaschine gefertigt. Zuvor muss der Teflonzylinder jedoch in seine Lagerbuchse eingepresst werden. Die Lagerbuchsen werden aus Messing oder Bronze hergestellt. Die Lagerkugel wird dadurch bei der Teleskopmontage geschont, falls sie unabsichtlich mit der Lagerbuchse in Berührung kommt. Das kann leicht beim Aufsetzen der Gabel auf den Polblock vorkommen. Unter der Teflonpfanne befindet sich noch ein eiserner Stempel in der Lagerbuchse, welcher die Aufgabe hat, den Druck aufzunehmen und das Teflon zu fixieren.

Der Polblock

Bei der Herstellung würde man ohne Kenntnis der Konstruktion nie auf die Idee kommen, dass es sich hier um einen Teleskopteil handelt. Auch der Polblock wird zur Gänze aus Stahlplatten unterschiedlicher Dicke gefertigt. Die Materialbeschaffung und das Zusammenschweißen erfolgen wie bei der Gabel. Dabei fällt das Deckblech des Polblocks auf. Wir haben es den "Hirschkäfer" genannt. Der Winkel des Hirschkäfers gegenüber der Basisplatte entspricht 90° -geogr. Breite des Aufstellungsortes. An den "Zangen" des Hirschkäfers wird später der Rektaszensionsantrieb befestigt. An dem austragenden Teil in der Mitte des Polblocks ist die Fassung für die Teflon-Lagerschale des Gabel-Traglagers angeschraubt und mit Passtiften gesichert.



Der sogenannte Hirschkäfer



Das soll ein Polblock werden?



Der Polblock ist fast fertig

Einstellelemente zur Nordung

So mancher "Teleskopexperte" hat sich vielleicht schon gewundert: Wo ist die Vorrichtung zur Kippung des Polblocks zwecks Einstellung der Polhöhe und die Drehscheibe zur Einstellung des Azimuts ?

Diese althergebrachten "liebgewonnenen" Konstruktionsmerkmale kleiner Amateurgeräte braucht man für stationäre Instrumente nämlich gar nicht. Wer sich echte Profiteleskope (damit meine ich nicht die „zu groß geratenen“ Amateurteleskope) schon mal genauer angesehen hat, wird feststellen, dass es dort auch so ist. Was also ist da los?



Befestigen der Lagerbuchse (Messing) mit der Teflonpfanne des Traglagers am Polblock

Der Unterschied zu Amateurteleskopen besteht darin, dass letztere für alle erdenklichen geographischen Lagen genordet werden können, während wir mit unserem festen Aufstellungsort nur kleine aber feine Korrekturen an der grob vorgegebenen Nordung (siehe oben unter "Winkel des Hirschkäfers") vornehmen müssen. Dazu reicht aber ein waagrecht angeordneter Kranz von Zug- und Druckschrauben, welcher eine leichte Kippung des Teleskops in jede beliebige Richtung ermöglicht, vollkommen aus. Diese Zug- und Druckschrauben verbinden den Polblock mit einer Eisenplatte (bei uns ein 2,5cm dicker Eisenring mit 50cm Durchmesser), welche in die Betonsäule einbetoniert und mit dem im Beton eingelassenen Bewehrungsseisen verschweißt wird.

Je nachdem welche Paare von Schrauben man verstellt, kann man nicht nur die Polhöhe sondern auch den Azimut fast vollkommen unabhängig voneinander fein justieren. Man benötigt also keine Drehung um eine senkrechte Achse zur Einstellung des Azimuts sondern erreicht das Gleiche durch eine Kippung. Wer das nicht glauben will soll sich die Geometrie einmal selbst überlegen. *)

Zur besseren Stabilität kann man bei der letzten Feinjustage der Nordung die Druckschrauben durch zusätzlich eingeschobene eingezwickte Unterlagsplättchen entlasten. Das ergibt wegen der größeren Auflageflächen eine steifere Verbindung zum tragenden Fundament. Die gesamte Steifigkeit der Verbindung Teleskop zu Fundament ist jedenfalls deutlich besser wie bei den sonst üblichen filigranen Gelenken zur Einstellung der Polhöhe.

Das Ergebnis

Der massive Polblock mit seinen stabilen Einstellelementen zur Nordung, die biegesteife Konstruktion der Gabel mit ihrer Gewichtsverteilung, die Anordnung und Ausführung der Lagerelemente und der konstruktiv durchdachte Reibradantrieb führen zu den für ein Amateurteleskop extrem hohen Genauigkeiten von Positionierung und Nachführung, wie sie im ersten Teil der Beschreibung jetzt angegeben sind. Und das mit einem Hauptspiegel der bei uns 40kg wiegt.

Freilich hat auch die Teleskopsteuerung ihren Anteil daran, doch unsere Teleskopsteuerung arbeitet ohne Tricks, ohne Kompensation von Getriebefehlern mit einem klassischen Teleskop-Pointing-Modell. Es ist immer besser mechanische Fehler des Antriebes erst gar nicht auftreten zu lassen, als sie hinterher in der Teleskopsteuerung mühsam modellieren zu wollen.

© Konstruktion: Ing. Rudolf Pressberger 1996

© Sternwarte Harpoint, 2002, 2008 Autor: Dipl. Ing. Hans Robert Schäfer

*) ergänzende Anmerkung 7 Jahre später:

Diese PDF-Datei wird jeden Tag dutzende Male gelesen. Und kaum jemand will glauben, dass man einen kleinen Azimutfehler in der äquatorialen Aufstellung des Teleskops allein durch Nivellieren der waagrechten Montagefläche der ganzen Montierung beseitigen kann. Mit einer gewissen Vehemenz werden Drehzapfen und Langlöcher in der Bodenplatte verteidigt. Es ist ja nicht das einzige Detail der Pressberger'schen Konstruktion, welches einfach nicht verstanden wird. Mir kann's ja eigentlich egal sein, sollen die Leute doch bauen was sie wollen. Trotzdem noch mal ein Versuch, es zu erklären:

Gehen wir mal davon aus, dass die Stundenachse bei der Aufstellung der Montierung mit dem Kran auf +/- 1 Grad genau zum Himmelsnordpol zeigt. Das wird man doch wohl noch so hinbekommen. Es geht also nur mehr um 1 Grad senkrecht in Nord-Südrichtung auf oder ab (Höhenwinkelfehler) oder um 1 Grad waagrecht in Ost-Westrichtung links oder rechts (Azimutwinkelfehler). Beim Höhenwinkelfehler ist es klar: Bei zu niedriger Polhöhe mit den Zug- und Druckschrauben in Nord-Südrichtung etwas stärker kippen. Die waagrechte Drehachse um die gekippt wird ist die Ost-West-Achse bzw. eine Querkante der Polblockbasis. Alles klar? Beim so schwer verständlichen Azimutwinkelfehler ist es ähnlich: Wir kippen den Polblock mit Hilfe der Zug- und Druckschrauben in Ost-West-Richtung. Die waagrechte Drehachse dieser Kippung ist die Nord-Süd-Achse bzw. eine Längskante des Polblocks. Für kleine Winkel gilt: Der Höhenwinkelfehler wird dabei nicht verändert. Die auf den Himmelsnordpol projizierte Stundenachse bewegt sich fast nur in Ost-West-Richtung. Wer noch immer Verständnisprobleme hat, der möge sich diese Bewegung folgendermaßen vorstellen: Man denke sich einen Kegel mit einem Öffnungswinkel von zwei mal der geografischen Breite (bei uns also etwa 96 Grad). Dieser Kegel liegt umgestürzt am Boden und seine Kegelachse zeigt zum Himmelsnordpol. Wenn wir den Kegel nun entlang seiner Mantelfläche am Boden rollen, verändern wir klarerweise den Azimutwinkelfehler. Rollen wir in einmal rundherum, so hat die Kegelachse eine volle Drehung in Azimutrichtung vollzogen. Rollen wir den Kegel aber nur ganz wenig, so können wir die Rollbewegung ohne Nachteil auch durch eine kleine Kippbewegung ersetzen und erzielen den gleichen Effekt. Alles Klar?