

## Der Antrieb

In diesem Kapitel wollen wir uns mit den mechanischen Komponenten des Antriebs beschäftigen. Es geht also um die Herstellung der großen Reibradscheiben, der Antriebswellen, Vorsatzgetriebe, Motor-Encodereinheit und um die Minimierung der Getriebefehler. Letzteres ist der Hauptgrund dafür, dass wir als Vorsatzgetriebe **kein fertiges Getriebe** aus dem industriellen Markt für Maschinenelemente beziehen, sondern auch die Getriebe **selbst herstellen**. Außerdem sind die selbstgebaute Vorsatzgetriebe **weitgehend spielfrei**, beinhalten auch eine **Scheibenbremse** und sind in ihren Abmessungen optimal auf das Teleskop abgestimmt. Getriebebausätze aus dem Modellbaubereich vergessen Sie gleich wieder, wir bauen hier einen Teleskopantrieb und keinen Gartengriller.



Besonderes Augenmerk werden wir auch auf die erforderliche präzise Justage zwischen Reibrad und Reibradantriebswelle legen. Diese Justage erfolgt **lasergestützt** und wird später bei der Endmontage beschrieben.

## Die Reibradscheiben

Wegen des großen Durchmessers von 50cm (Faustformel: Reibraddurchmesser=Hauptspiegeldurchmesser) werden sie nicht selbst angefertigt. Kleine Maschinenbauunternehmen, Getriebehersteller und Drehereien nehmen derartige Aufträge entgegen. Welche Anforderungen sind hier bei der Auftragsvergabe zu stellen? Beim Reibrad für die Deklination sollte die Exzentrizität zwischen Lagersitzbohrung und Reibradlauffläche möglichst gering sein. Beim ringförmigen Reibrad für die Rektaszension gibt es diesbezüglich kein Problem.

Die Reibräder sind aus härtbarem Stahl herzustellen, und werden anschließend in einer Härterei auf Rockwellhärte HRC 60 oberflächengehärtet. Auch das vereinbart man gleich mit der Herstellerfirma. Achtung die Deklinationsscheibe kann sich beim Härten verziehen, daher vor Übernahme prüfen. Die Reibfläche und eine Seitenfläche lässt man nach der Härtung glatt schleifen. Wir haben für die Herstellung der Reibräder etwa 700 Euro pro Stück bezahlt, man möge das einmal mit den Preisen für einen Schneckenradantrieb gleicher Größe vergleichen.



*Deklinationsantrieb: Antriebswelle in einem Gabelarm*



*Deklinationsreibrad eingebaut*

An Stelle der Härtung können die Reibräder auch hartverchromt werden (so z.B. bei den Teleskopen in Davidschlag und Linz), das bietet auch einen Schutz vor Rost. Hartverchromen ist bei derart großen Teilen nicht billig und es dürfte nicht ganz einfach sein, eine gleichmäßige Schichtdicke zu erzielen. Wir haben dies jedoch nicht machen lassen. Gehärtete Stahloberflächen haben ohnehin eine gewisse Resistenz gegen Korrosion, man kann die Reibräder unserer Erfahrung nach aber auch einölen, ohne ihre Funktion negativ zu beeinflussen. Dabei verwenden wir das altbewährte alkalische Waffenöl „Balistol“.

## Antriebswellen



Antriebseinheit Deklination

Für die Reibradantriebswellen besorgt man sich eine gehärtete und geschliffene Welle mit 20mm Durchmesser. Diese ist im Handel mit 1m Länge erhältlich. Sie kann nur mit einer Trennscheibe auseinandergeschnitten werden. Beim Deklinationsantrieb ist die Antriebswelle an einem Ende (dort wo sie das Reibrad antreibt) auch plangedreht bzw. geschliffen. Dadurch wird die Befestigung einer Glasplatte für die schon im ersten Teil erwähnte, lasergestützte Justage ermöglicht. Das andere Ende der Antriebswelle ist zur Befestigung der Scheibenbremse herausgeführt. Beim Rektaszensionsantrieb haben wir beides, die verlängerte Achse für die Scheibenbremse und den Planschliff für die Glasplatte am getriebeseitigen Ende der Welle durchgeführt.

Das Stirnrad bzw. dessen Aufspannbuchse sitzt mit einer leichten Presspassung auf der gehärteten Welle. Zur Fixierung verwendet man Sicherungskleber auf Cyanacrylatbasis (LOCTITE).

## Getriebeelemente

Beide Getriebe enthalten identische Getriebeelemente. Es handelt sich um eine geschliffene Schnecke aus Stahl, **nicht gehärtet**. Dazu passend ein schrägverzahntes **Stirnrad** aus Messing oder Bronze, jedoch **kein Schneckenrad**. Die Verwendung eines schrägverzahnten Stirnrades an Stelle eines Schneckenrades ist keine „primitive Billiglösung“ sondern wohlgedacht. Während für einen Schwerlastantrieb die Paarung Schnecke plus Schneckenrad mit der großflächigen Berührung zwischen Schnecke und Schneckenrad zur Übertragung hoher Drehmomente unerlässlich ist, haben wir hier bei unserem weitgehend austarieren Teleskop nur kleine



Schrägverzahntes Stirnrad und Schnecke

Antriebsmomente zu übertragen, auch wenn das Teleskop noch so groß ist. Die kleine Berührungsfläche (geometrisch-theoretisch ein Punkt) zwischen Schneckenrad und Stirnrad ist dazu vollkommen ausreichend. Jetzt kann jedoch die Schnecke an das Schneckenrad leicht angedrückt werden, ohne dass es zwickt. Genau das ist aber beim konventionellen Schneckengetriebe nicht möglich. Das kennt jeder, der schon einmal versucht hat, den Schneckenantrieb seiner käuflich erworbenen Amateurmontierung einzustellen. Entweder es gibt ein Getriebeispiel oder es klemmt völlig.

Bei uns hingegen ergibt das ein weitgehend, im Idealfall sogar vollkommen spielfreies Getriebe.

**Dieser kleine Trick ist in der Teleskopbauszene bis heute völlig unbekannt**, obwohl die wahren Profis das schon länger kennen (Zeiss, Leitz, Rademakers).

## Lagerung der Getriebeelemente

Sie erfolgt sowohl bei der Schnecke als auch bei der Antriebswelle mit gepaarten Schrägkugellagern, die zusammen jedes Achsialspiel unterbinden. Bei der Schnecke befinden sich die gepaarten Lager auf der einen Seite, während sich auf der anderen Seite die Kupplung zum Antriebsmotor befindet. Die Bohrung an diesem Wellenende der Schnecke zur Aufnahme der Motorachse mit Einlegekeil sollte im Durchmesser besonders genau und konzentrisch gefertigt sein.

## Vollkommen spielfreie Getriebe

Es ist nicht unbedingt erforderlich die Getriebe vollkommen spielfrei zu betreiben. Es ist aber mit viel Geduld immerhin möglich, das Getriebeispiel auch vollkommen wegzubekommen, vorausgesetzt der Zahnflankenfehler des Stirnrades ist gering. Leichter wird man das wohl mit einem geschliffenen Stirnrad erreichen (bei uns nicht der Fall).

Der Zahnflankenfehler ist aber nicht das Haupthindernis auf dem Weg zu einem spielarmen oder gar spielfreien Getriebe. Schwankungen im Getriebeispiel sind in erster Linie auf die Exzentrizität der Schnecke und des

Stirnrades zurückzuführen und erst in zweiter Linie auf den Zahnflankenfehler des Stirnrades. Ein weiterer Vorteil der Paarung Schnecke plus Stirnrad besteht darin, dass nach der Beseitigung der Exzentrizitätsfehler von Schnecke und Zahnrad (siehe unten) der noch verbleibende Zahnflankenfehler des Stirnrades (falls er nicht zu groß ist) durch „Einlaufen“ des Getriebes mit der Zeit weiter vermindert werden kann. Die „Abnützung“ des Stirnrades ist hier also gewollt und geht von selbst bei eingelaufenem Getriebe zurück. Allerdings werden dabei saubere, gratfreie Flanken bei der Schnecke vorausgesetzt. Sollte man dennoch mit dem Ergebnis des Einlaufens nicht zufrieden sein, so wird die Schnecke nur ein wenig in Achsrichtung der Antriebswelle verschoben. Der Eingriff ins Stirnrad erfolgt dann auf einer neuen, noch nicht abgenutzten Stelle des Stirnrades, das ist bei konventionellen Schneckenantrieben völlig undenkbar.

So mancher Teleskopselbstbauer wäre mit der Präzision unserer Getriebe schon hoch zufrieden, auch wenn er sein Teleskop damit direkt antreibt... und wir verwenden sie nur in der Vorstufe. Um es mit den Worten des Konstrukteurs Rudolf Pressberger zu sagen (Zitat):

**„Der Bau großer Teleskope hat überhaupt nichts mit Schwermaschinenbau zu tun, sondern hat viel mehr mit der Kunst der Uhrmacherei gemeinsam.“**

**Anmerkung:** Rudolf Pressberger hat nach dem Bau seines großen Teleskops ein neues Hobby gefunden, die Uhrmacherei. In kürzester Zeit ist er auch auf diesem Fachgebiet zur Weltspitze vorgestoßen.

**Anmerkung:** Spielfrei sind auch die sogenannten „harmonischen Getriebe“, welche ohne Schnecke sondern mit einer elastisch verformbaren Zahnscheibe hohe Unteretzungen bei nur 2 „Zahnradern“ erreichen. Sie haben jedoch deutliche Zahnteilungsfehler, die wegen des wechselnden Eingriffes der Zähne sehr lange Perioden aufweisen. Ein Selbstbau der Getriebe oder eine nachträgliche Verbesserung ihrer Fehler scheint nicht möglich zu sein, nur eine aufwendige PEC könnte da noch helfen. Wir raten daher von der Verwendung derartiger Getriebe ab.

## Beseitigung der Exzentrizitätsfehler

Ein je nach Stellung der Getriebeelemente zueinander unterschiedliches Getriebeispiel bzw. eine stellenweise vorhandene Schwergängigkeit des Getriebes bei Andruck der Schnecke auf das Stirnrad wird 2 Perioden aufweisen, eine Periode pro Umdrehung der Schnecke und eine weitere Periode welche mit jeder Umdrehung des Stirnrades zusammenhängt. Ein probeweiser Zusammenbau des Getriebes bringt diese Fehler ans Tageslicht,



*Schnecke geraderichten*

wenn man die Schnecke von Hand und ohne Verwendung von Schmiermittel bewegt. Man markiert die betreffenden Stellen an den Getriebeelementen sowie ihre Stellung zueinander mit einem Filzstift.

Die Exzentrizität infolge einer verbogenen Schnecke kann durch gezieltes Ankörnern der Schnecke an geeigneter Stelle beseitigt werden. Dort wo ein Körner gesetzt oder eine Kerbe eingeschlagen wird, drückt es das Material auseinander und wirkt so der Durchbiegung entgegen. Jetzt verstehen wir auch warum die Schnecke **nicht gehärtet** sein darf. Eine Abnützung der Schnecke ist deswegen nicht zu befürchten.

Die Exzentrizität des Stirnrades kann durch eine Aufspannbuchse weitgehend beseitigt werden. Diese sitzt zwischen dem Stirnrad und der Antriebswelle. Durch radiale Stellschrauben (Madenschrauben) lässt sich mit Hilfe einer Messuhr die Exzentrizität minimieren. Anschließend wird das Stirnrad mit der Aufspannbuchse achsial verschraubt bzw. noch zusätzlich geklebt.

Wird bei einem zu hohen verbleibenden Getriebe-Restfehler die Spielfreiheit nur

durch verstärkten Andruck zwischen Schnecke und Stirnrad erreicht, dann kann es vorkommen, dass der Antrieb bei tiefen Temperaturen im Winter zu schwergängig wird und der Motor das erforderliche Drehmoment trotz elektronischer Regelung nicht mehr aufbringen kann. Das Teleskop bleibt dann „stecken“. In diesem Fall ist es besser, ein kleines Getriebeispiel zu akzeptieren (oder mit einer höheren Verstärkung des Servoverstärkers die Parameter der Motorregelung zu verändern).



*Aufspannbuchse*

Das Getriebespiel wird ja bezüglich seiner Auswirkung auf die Positioniergenauigkeit des Teleskops (wie alle anderen Getriebefehler auch) durch die Reibraduntersetzung um den Faktor 20 vermindert. Da haben die besten und teuersten Schneckenantriebe keine Chance mit unserem Teleskopantrieb zu konkurrieren, selbst wenn wir ein kleines Getriebespiel haben.

## Getriebegehäuse

Die Getriebegehäuse sind so konstruiert, dass der Eingriff zwischen Schnecke und Stirnrad auch nach der Montage am Teleskop leicht eingestellt werden kann. Die Getriebegehäuse werden aus einem Aluminiumblock gefertigt. Außen sind sie mit einem Fräser zu überarbeiten. Innen werden sie durchbohrt (Sitz der Schnecke) bzw. ausgedreht (Sitz des Stirnrades). Das kann entweder auf der Drehbank mit Hilfe einer Aufspannscheibe oder auf der Fräsbank mit Hilfe eines Ausdrehkopfes erfolgen. Hilfreich ist auch ein Teilapparat zum Anbringen der zahlreichen konzentrischen Befestigungsbohrungen. Eine selbstgemachte Eloxierung verleiht dem Getriebe ein professionelles Aussehen.



*Getriebegehäuse farblos eloxiert*

## Einheit Motor-Encoder



*Motor, Winkelencoder und Flansch*

Wir haben Scheibenläufer-Motoren vom Typ MO80 von der spanischen Firma MAVILOR und Winkelencoder vom Typ ROD426 von der deutschen Firma HAIDENHAIN verwendet. Die Motoren haben auf beiden Seiten eine herausgeführte Achse. Dadurch lässt sich hinter dem Motor noch der Winkelencoder anflanschen. Aus regelungstechnischen Gründen sollte die mechanische Kupplung zwischen Motor und Encoder sehr verwindungssteif sein. Wegen des immer vorhandenen Winkelfehlers oder Achsversatzfehlers zwischen Motor- und Encoderachse ist eine torsionsarme Spezialkupplung zwischen Motor und Winkelencoderachse notwendig. Die Encoderhersteller bieten derartige Kupplungen an, man kann sie aber auch leicht aus Aluminium selbst herstellen. Dazu wird ein Aluminiumrundstab, der an beiden

Enden Wellenbohrungen und Madenschrauben zum Festklemmen auf den Achsen hat, mit kreuzförmig angeordneten Schlitzen versehen, welche eine leichte Biegung erlauben. Mehrere derartige Schlitze erlauben auch einen leichten Achsversatz. Die Torsion derartiger Kupplungen liegt selbst bei hohen Drehmomenten bei wenigen Bogensekunden. Das ist regelungstechnisch für den Geschwindigkeitsregelkreis des Motors kein Problem.

## Scheibenbremse



*Scheibenbremse aus Federbronze*

Wenn die Vorsatzgetriebe ein verbleibendes restliches Getriebespiel haben, dann ist wegen der geringen Lagerreibung der Teleskopachsen eine kleine Pendelbewegung (genauer eine Drehschwingung) des ganzen Tubus bzw. der Gabel zwischen diesen Getriebespielgrenzen möglich. Um diese möglicherweise störende Drehschwingung von vorne herein zu dämpfen, soll eine Scheibenbremse ein gleichmäßiges Bremsmoment auf die Antriebswelle ausüben. Für den Antriebsmotor ist dieses kleine zusätzliche Moment kein Problem und auf den Reibradantrieb hat dies überhaupt keinen Einfluss. Die regelungstechnische Stabilität des Antriebes wird hingegen positiv beeinflusst. Die Scheibenbremse befindet sich am anderen Ende der Antriebswelle ganz unauffällig über dem

Getriebelagerdeckel.

*Achtung: Die Scheibenbremse ist in den Planunterlagen nicht eingezeichnet.*

## Der Anpressdruck zwischen Reibrad und der Antriebswelle

Bei Reibradkonstruktionen anderer Teleskope ist immer eine Stahlfeder mit Andruckschraube erkennbar, welche die Antriebswelle gegen das Reibrad presst. Diese Teile sucht man hier vergeblich. In Rektaszension wird der Anpressdruck nämlich durch die Schwerkraft aufgebracht: Mit über 3000N drückt die Gabel und der Tubus die Reibradscheibe auf die Antriebswelle. In Deklination sind die Verhältnisse anders: Hier wird das 5mm starke Außenblech der Gabel elegant als Biegefeder verwendet. Der eingeschweißte Befestigungsflansch für die Antriebseinheit wird leicht elastisch verkippt und somit federt die ganze Antriebseinheit (Deklinationsgetriebe samt Antriebswellenrohr) nach oben. Die Anpresskraft auf das Reibrad beträgt hier immerhin noch ca. 400N (je nach Zustellung der Antriebseinheit), was bei unserer Tubuslagerung vollkommen ausreichend ist.

## Der Schlupf

Bei Reibradantrieben gibt es immer einen Schlupf. Darunter verstehen wir ein leichtes „Zurückbleiben“ des angetriebenen Elementes gegenüber der theoretischen Getriebeuntersetzung. Der Schlupf wirkt in Richtung des Drehmomentes (Antriebs- oder Bremsmoment) an der Stelle Reibrad zu Antriebswelle und sein Betrag ist etwa proportional zum Verhältnis Drehmoment durch Anpressdruck. Des weiteren nimmt der Schlupf stark zu, wenn die beiden Achsen von Reibrad und Antriebswelle nicht in einer Ebene liegen. Um letzteres doch zu erreichen, wird der Antrieb (wie schon erwähnt) lasergestützt justiert. Wie man das macht werden wir aber erst im letzten Teil unserer Teleskopbauserie beschreiben (ich kann hier ja nicht gleich alles verraten). Schmutz auf dem Reibrad kann sich ebenfalls negativ auswirken, genauso wie er ja auch bei einem verschmutzten Stirnradgetriebe oder konventionellen Schneckenradgetriebe Nachführfehler verursachen kann. Wahrscheinlich gibt es auch noch eine gewisse Abhängigkeit von der Art des Schmiermittels (Öl), welches eventuell als Korrosionsschutz für das Reibrad zum Einsatz kommt.

Ein konstanter Anteil des Schlupfes (Mittelwert) kann in der Teleskopsteuerung berücksichtigt werden. Da der Schlupf immer auch eine gewisse zufällige Komponente enthält, geht es darum, ihn möglichst klein zu halten.

Dazu gibt es folgende Maßnahmen:

- Das Verhältnis Drehmoment zu Anpressdruck (zwischen Reibrad und Antriebswelle) soll wie gesagt möglichst klein sein. Das wird durch die Verwendung der reibungsarmen Pressberger'schen Speziallager erreicht, bei denen eine Erhöhung des Anpressdruckes eben nicht automatisch zu einer Erhöhung der Lagerreibung und somit wieder zu höherem Drehmoment führt.
- Die lasergestützte Justage des Antriebs vermeidet eine zusätzliche Schlupfkomponente
- Sowohl der Tubus in Deklination als auch die Gabel samt Tubus in Rektaszension müssen sehr gut austariert sein. Dann wird freilich auch das vom Antrieb aufzubringende Drehmoment klein bleiben. Bei einem Wechsel der Fokalinstrumentierung im Cassegrainfokus wird gleichzeitig auch der passende Gegengewichtsring gewechselt, genau so wie bei den Großteleskopen in aller Welt. Grenzen sind lediglich durch die schweren Kabel und Schläuche großer CCD-Kameras gesetzt, welche womöglich in wechselnden Richtungen am Tubus ziehen. Einen rechnergesteuerten „Kabelrotator“ wie beim VLT wird man sich als Amateur wohl kaum leisten wollen.

Wie stark sich der Schlupf letztendlich auswirken wird, ob er also für die rechnergesteuerte Positionierung eine deutliche Störgröße darstellt oder nicht, haben wir vor der Fertigstellung unseres Teleskopes bzw. der beiden anderen ähnlichen Teleskope in Oberösterreich auch nicht gewusst. Die Praxis hat jedoch gezeigt, dass nur selten überhaupt sporadisch kleine Positionierfehler auftreten. Selten genug, dass wir es bis dato nicht der Mühe Wert gefunden haben, die Sache systematisch näher zu untersuchen.

Was die Nachführgenauigkeit betrifft, so zeigt sich die deutliche Überlegenheit eines richtig konstruierten Reibradantriebes. Wir haben manchmal schon Überlegungen angestellt, ob wir nicht zwischen den einzelnen Belichtungen einer Aufnahmeserie in die Teleskopsteuerung eingreifen sollten, um künstlich kleine Positionsänderungen vorzunehmen, damit ein und derselbe Stern nicht immer auf ein und dasselbe CCD-Pixel belichtet wird. Nur bei niedriger Horizonthöhe kann ein gewisser Nachführfehler auftreten. Der Grund ist die Refraktion, welche in der Teleskopsteuerung nur bis zu einem gewissen Grad berücksichtigt werden kann. Auch das steife, schwere Kamerakabel zieht beim Blick zum Horizont stärker am Teleskop.

© Konstruktion: Ing. Rudolf Pressberger 1996

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