

Montierung auf großem Drehkranz

Das größte, von Fischertechnik angebotene Zahnrad für die Konstruktion, hat 60 Zähne und vereint Zahnrad und Lagerung als fertigen Drehkranz. Dieses Maschinenelement ist in höchstem Maße praktisch. Seine Genauigkeit reicht aber nicht aus, wenn höchste Anforderungen an Leichtlauf und Winkelauflösung für eine Drehbewegung gefordert werden.

Im folgenden wird die Konstruktion einer Montierung beschrieben, die Schwenk- und Drehbewegungen in Bogensekundenauflösung leistet. Sie trägt ein Teleobjektiv mit 500 mm Brennweite und eine Webcam. Der Bildwinkel ist 0,4 Grad.

1. Große Zahnräder

Die Schaffung eines großen Zahnrad startet mit der Idee, eine Fischertechnikkette um die 6 Statik-Bogenelemente, die zum Kreis zusammengesetzt sind, herumzulegen. Der Vorteil ist, daß die Elemente einen guten Kreis bilden, aber die Kette läßt sich nicht befriedigend befestigen.

Im zweiten Anlauf basiert das Zahnrad auf 48 Winkelsteinen zu 7,5 Grad Neigung. Der Prototyp, dessen Kranz sich aus 144 Einzelteilen zusammensetzt, hat eine umlaufende Kette mit 140 Gliedern.



Abbildung 1: Prototypzahnrad mit 140 Zähnen

Bei der Konstruktion des Zahnrad stellt sich leider heraus, daß es sich nicht exakt fügen läßt. Große Schwierigkeiten bereiten dabei die Länge der Speichen. Sind sie zu kurz oder zu lang, dann verzieht sich der Außenring und verliert die exakte Kreisform. Zwar können die 6 innersten Bausteine auf der roten Drehscheibe radial verschoben werden, aber die notwendige Justage ist schwierig und ungenau.

Letztendlich muß der Prototyp verworfen werden, weil die geforderte Genauigkeit nicht zu erreichen ist. Die besonderen Schwierigkeiten sind in Abbildung 2 dargestellt. Hier ist ein dunklerer, zusätzlicher Baustein in den Kranz eingefügt (auf der anderen Seite ist noch einer),

um überhaupt die Konstruktion halbwegs genau ‚hinzuzimmern‘. Das Resultat ist aber ein Höhengschlag (Radiusfehler) von gut 0,5 mm, der nicht hingegenommen werden kann.

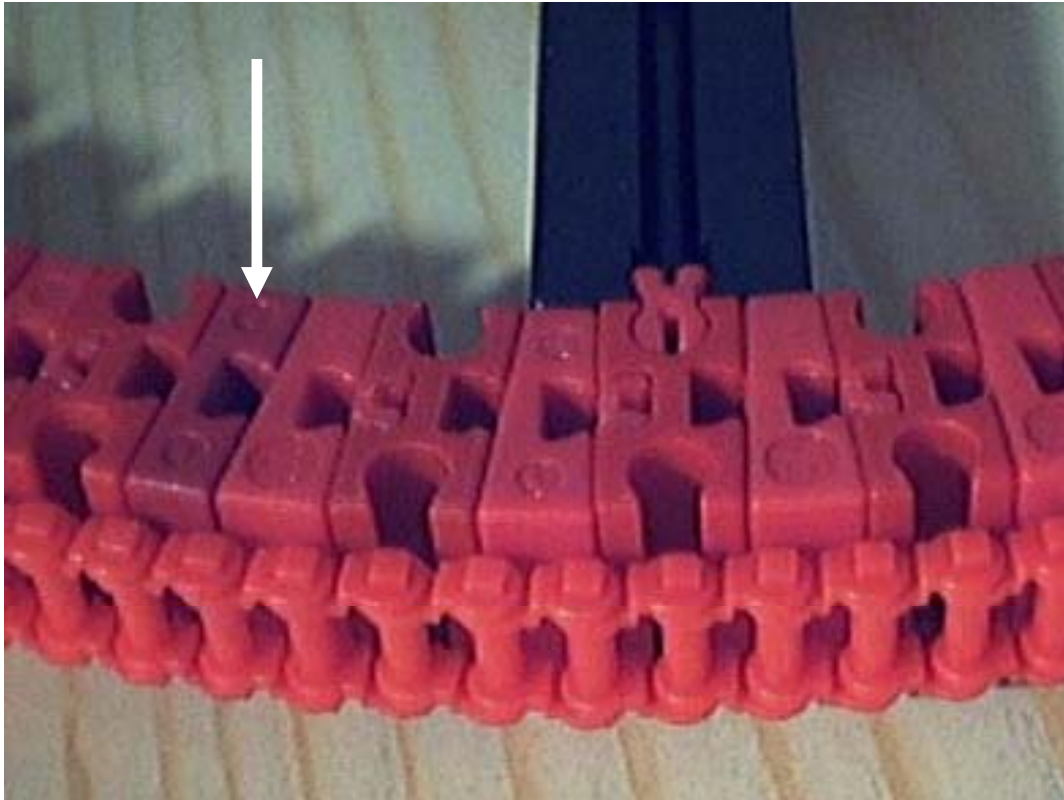


Abbildung 2: Zusätzlicher Baustein im Radkranz (links, etwas dunkler rot)

Im nächsten Anlauf erreicht das Zahnrad dann 178 Zähne. Zusammengesetzt wird der Kranz jetzt aus 48 Elementen, die ihrerseits aus einem Winkelstein 7,5 Grad, einem Doppelnutenstein 7,5 mm und einem Baustein 5 mm mit 2 Zapfen. Bei dieser Baugröße gelingt es, die Speichen exakt einzusetzen, d. h. beim Einsetzen üben die Speichen keinerlei Maßänderung auf den Kranz aus, der somit seine genaue Form behält.

Der innere Bereich der Radnabe wird mit Bausteinen 15 und mit gleichschenkligen Winkelsteinen 60 Grad gebildet. Diese Bausteine ‚blockieren‘ sich gegeneinander so, daß die Speichenlänge sehr exakt stimmt und alle Bausteine auf der roten Drehscheibe die gleiche Position einnehmen.

Die Untersuchung des Zahnrades zeigt dann am Ende, daß der Höhengschlag unter einem Viertelmillimeter liegt und das Zahnrad somit sehr genau ist.

Nicht verschwiegen soll aber werden, daß das Zahnrad empfindlich ist und auf einem Holzbrett sorgfältig platt aufgelegt werden muß, um es zusammenzusetzen.

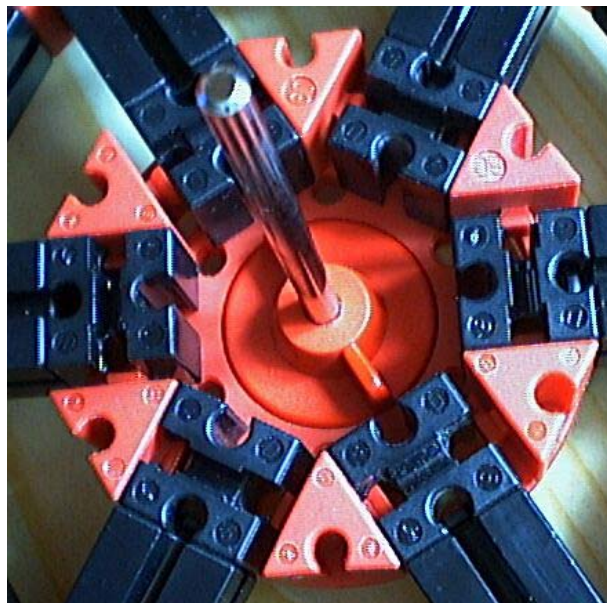


Abbildung 4: Radnabe mit Blockwinkeln

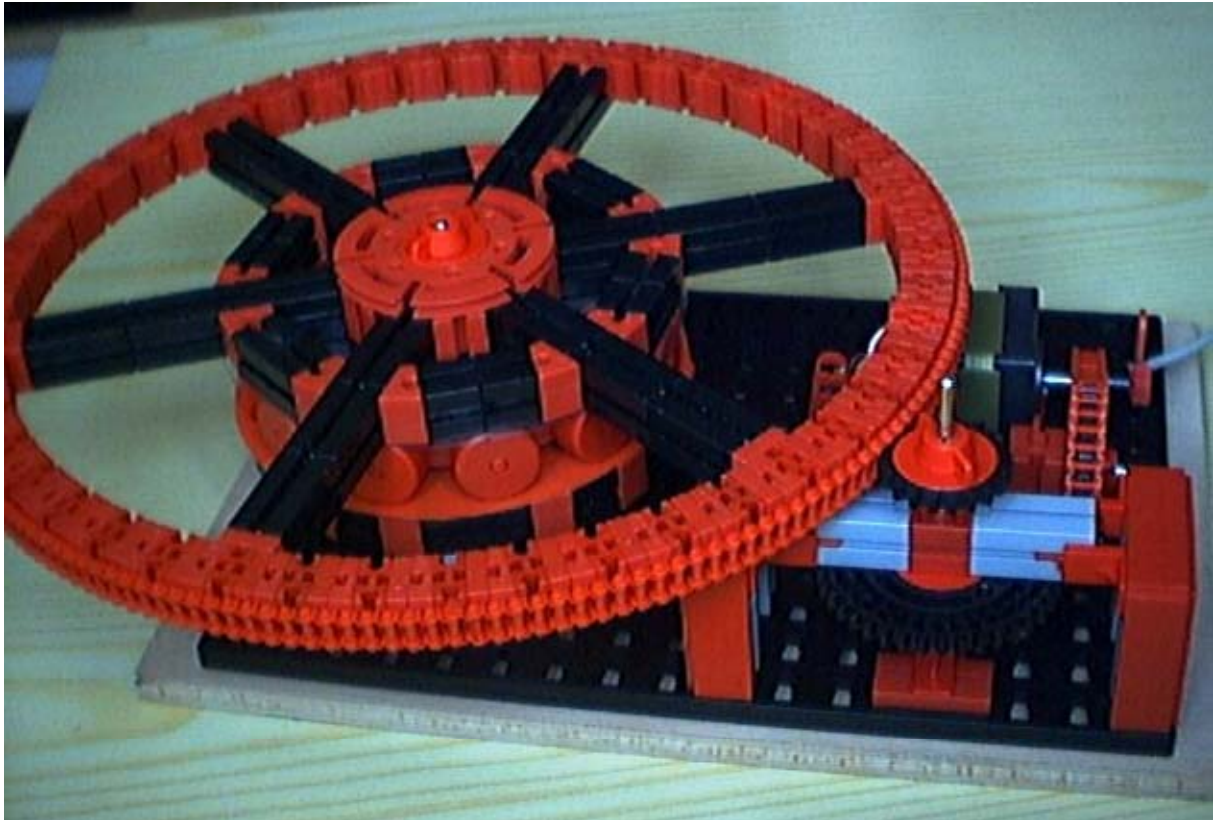


Abbildung 5: Großes Zahnrad mit Getriebe und Rollenkranz

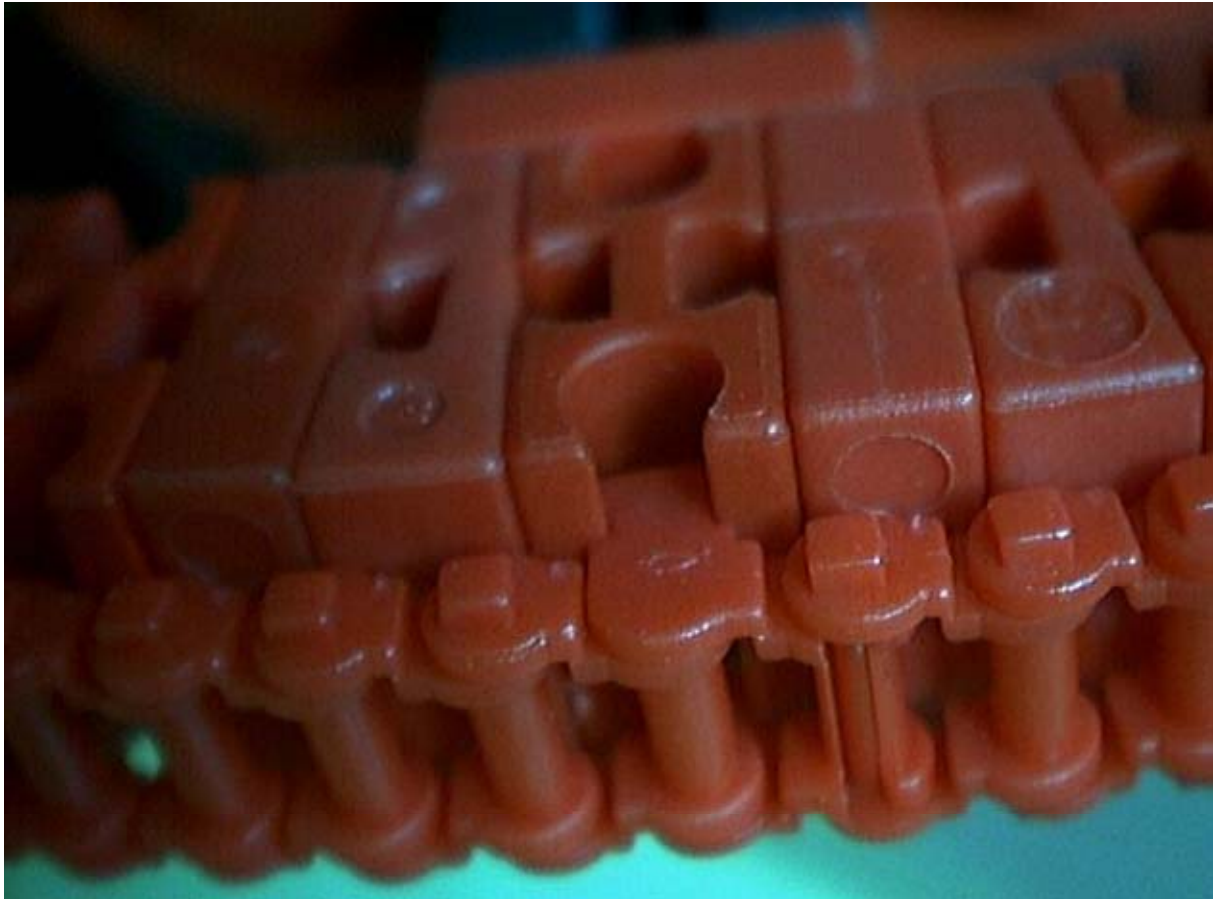


Abbildung 6: Kettenbefestigung

2. Der Drehkranz

Mit dem großen Zahnrad besteht nun die Möglichkeit, feine Schwenkbewegungen auszuführen. Das erfordert aber zusätzlich eine nahezu reibungsfreie Lagerung, die als Rollenkranz ausgeführt wird.

Das Hakeln der Rollen beim Abrollen auf Fischertechnik-Bauteilen verhindern die glatten Kunststoffscheiben, zwischen denen der Rollenkranz sich bewegt. Auch unter erheblicher axialer Last, dreht sich das Zahnrad einwandfrei ohne zu ruckeln.



Abbildung 7: Rollenkranz mit ebener Kunststoffunterlage

Der Trägerkranz unter dem Rollenkranz ist in der gleichen Geometrie ausgeführt, wie der innere Ring im Zahnrad. Axiale Lasten beanspruchen damit nicht die Zahnradspeichen, sondern werden senkrecht durch den Rollenkranz geführt.

Die Rolleigenschaften der oben abgebildeten Rollen sind, wenn man bedenkt daß es sich dabei nur um zapfengeführte Kunststoffrollen handelt, sehr gut. Durch das einleiten axialer Kräfte von oben auf die Rollen und gleich weiter nach unten aus den Rollen, sind die Zapfen nur mit der Führung der Rollen beansprucht und tragen keine Last.

Das Widerstandsmoment des Rollenkranzes ist äußerst gering und ermutigt, weiterhin an die Konstruktion zu glauben.

3. Spielfreies Getriebe

Um einen Bildwinkel von 0,4 Grad (24 Bogenminuten) sanft zu durchschwenken, muß die Auflösung des Winkelvorschubs in den Bogensekundenbereich vorgeschoben werden. Das erfordert ein exakt arbeitendes Getriebe, dessen Bauteile zueinander justierbar sind.

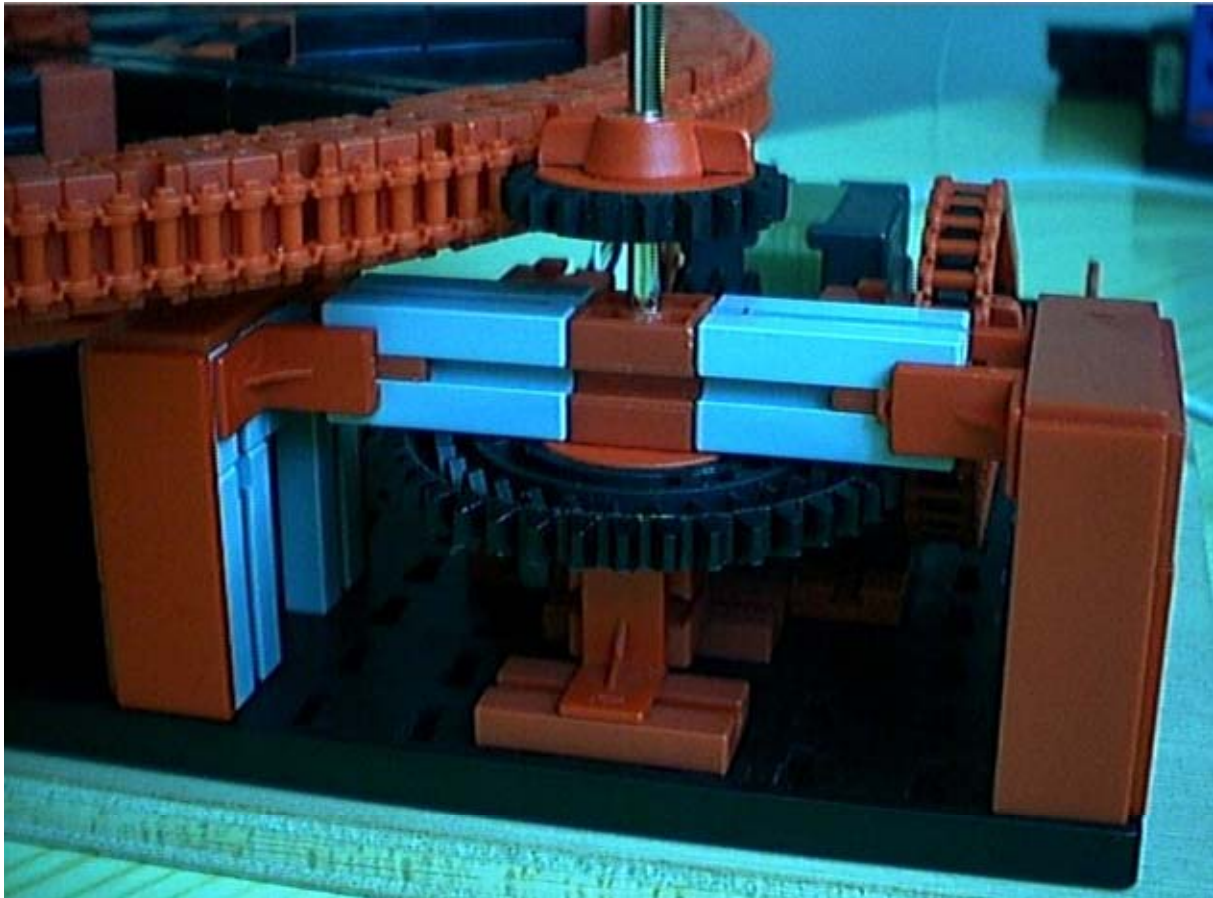


Abbildung 8: Antriebsritzel für Großrad

Die Ritzelwelle ist sehr steif gelagert. Das besondere Konstruktionsmerkmal ihrer Lagerung ist die Verschieblichkeit. Dadurch kann der Achsabstand von Großrad und Ritzel eingestellt werden, bis sich ein minimales Spiel in der Verzahnung ergibt.

Das Ritzel hat 20 Zähne. Es wäre noch eines mit 10 Zähnen möglich gewesen, aber dessen Zähne zeigen schon zu starke Hinterschneidungen, so daß das Getriebe nicht mehr spielfrei eingestellt werden kann.

Der Ritzelantrieb erfolgt mit einer Schnecke auf das untere Zahnrad mit 40 Zähnen. Auch die Schneckenwelle ist verschieblich gelagert und kann so spielfrei zum unteren Zahnrad eingestellt werden. Die Schneckenwelle verläuft in Richtung der oben beschriebenen Verschieblichkeit der Ritzelwelle, so daß sich die Justagen nicht gegenseitig wegheben.

Angetrieben wird die Schnecke über einen Kettentrieb vom Schrittmotor. Auch der Schrittmotor ist seitlich verschieblich, so daß die Kette leicht gespannt werden kann.

Die Gesamtübersetzung ist damit 1:3 im Kettentrieb, 1:40 im Schneckentrieb und 1:8,9 auf das Großrad. Die Gesamtübersetzung ist damit 1: 1068. Bei 100 Schritten je Motorumdrehung erreicht das Getriebe eine Auflösung von 12,13 Bogensekunden.

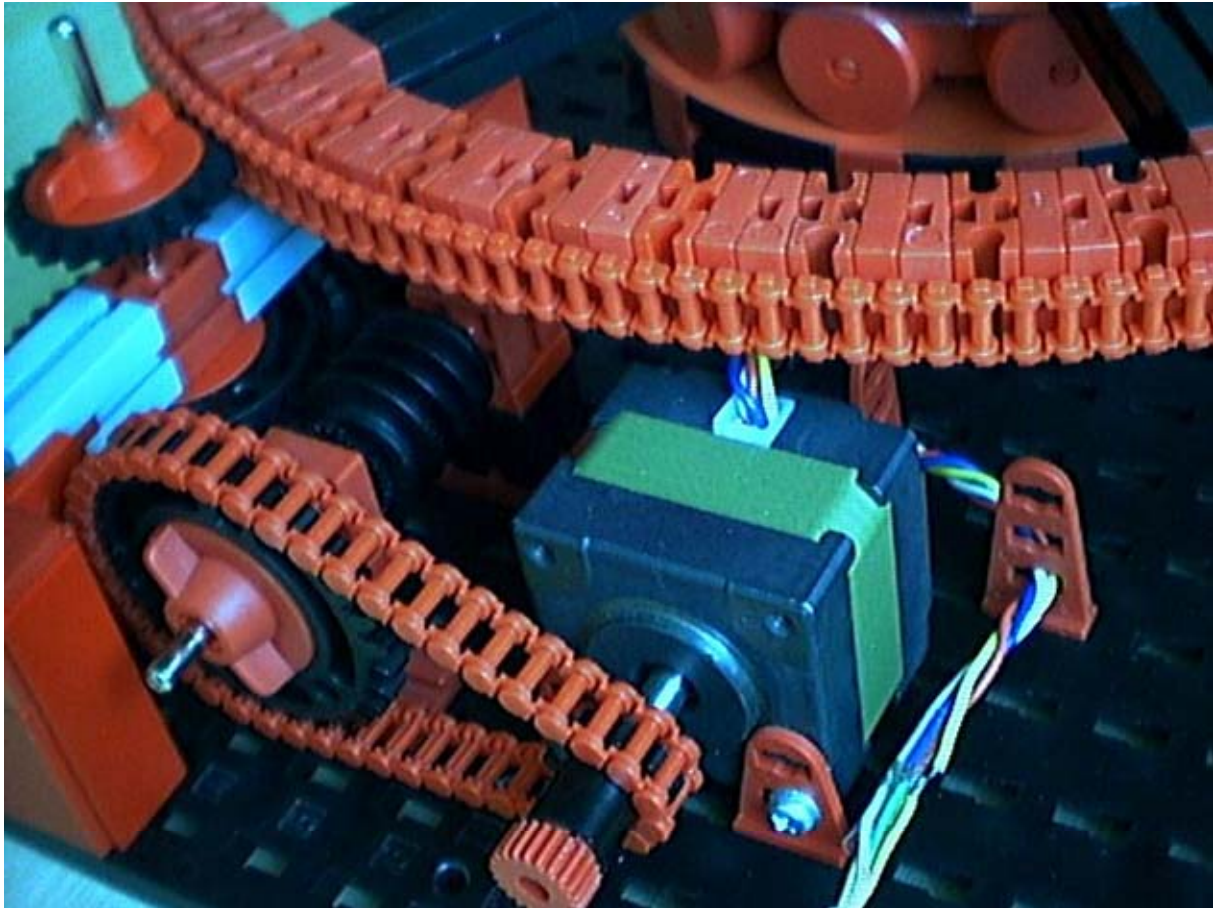


Abbildung 9: Schneckenantrieb und Schrittmotor

4. Die Höhenwiege

Im nächsten Schritt gilt es, die Leistung im Elevationsschwenk in gleicher Qualität zu erzielen, wie im Horizontalschwenk. Das bedeutet, eine ebenso feinfühlig und wie steife Höhenwiege zu konstruieren.

Unter Auslassung eines guten Dutzends verworfener Prototypen, die sämtlich aufgrund mangelhafter Steifigkeit durchfielen, ist im folgenden eine Gabelmontierung beschrieben, die zwei Drehkränze als Lagerung aufweist und deren Antrieb über eine Kevlar-Zugschnur erfolgt. Tragende Konstruktionselemente sind die großen Fischertechnik-Träger, die der Gabel die notwendige Festigkeit verleihen (Abbildung 10).

Die beiden großen Bögen unterhalb der Lagerplattform für die Optik, sind eine Wiederholung des Zahnkranzes mit 140 Zähnen. Diese Art der Konstruktion ist bekannt bei alten Drehleitern, die noch nicht hydraulisch gehoben werden (Abbildung 11).

Über die Bögen ist jedoch keine Kette geführt, sondern eine Kevlar-Zugschnur gelegt. Die Schnur hat eine sehr viel höhere Steifigkeit und erlaubt eine sehr feine Bewegung, wenn sie auf einer Fischertechnik-Welle aufgewickelt wird. Als Antrieb ist nur noch ein Schneckenantrieb eingeschaltet. Die Lastrichtung auf der Schnecke kehrt nie um, damit ist der Antrieb praktisch spielfrei und muß nicht justiert werden (Abbildung 12).

Die Übersetzung ist 1:30 im Schneckenantrieb und 1:50 im Seiltrieb. Der Motor macht ebenfalls 100 Schritte je Umdrehung. Die Auflösung in der Elevation ist damit 8,64 Bogensekunden und ist damit gut vergleichbar mit der Auflösung in Horizontalrichtung.

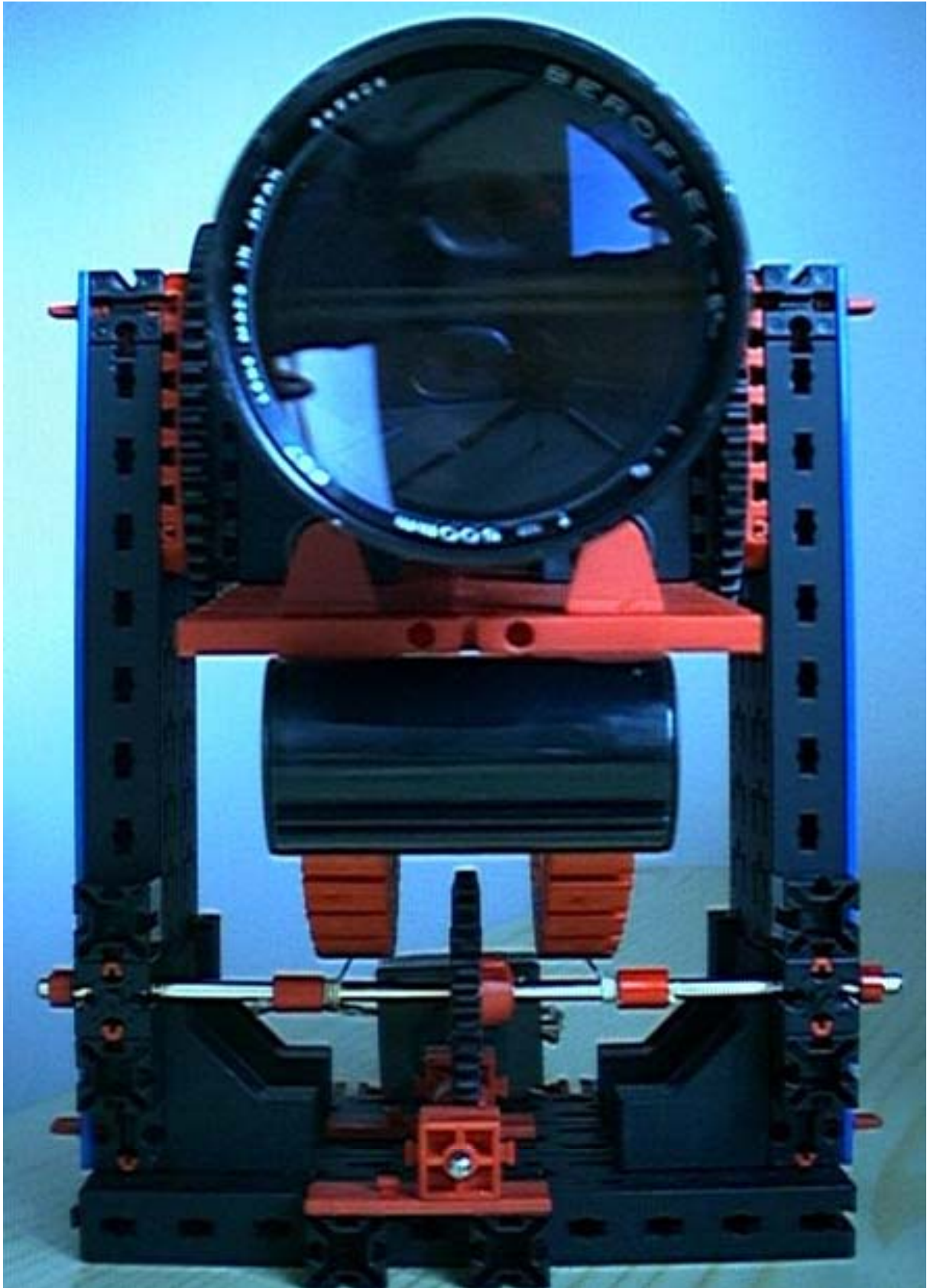


Abbildung 10: Gabel der Höhenwiege mit Lagerdrehkränzen

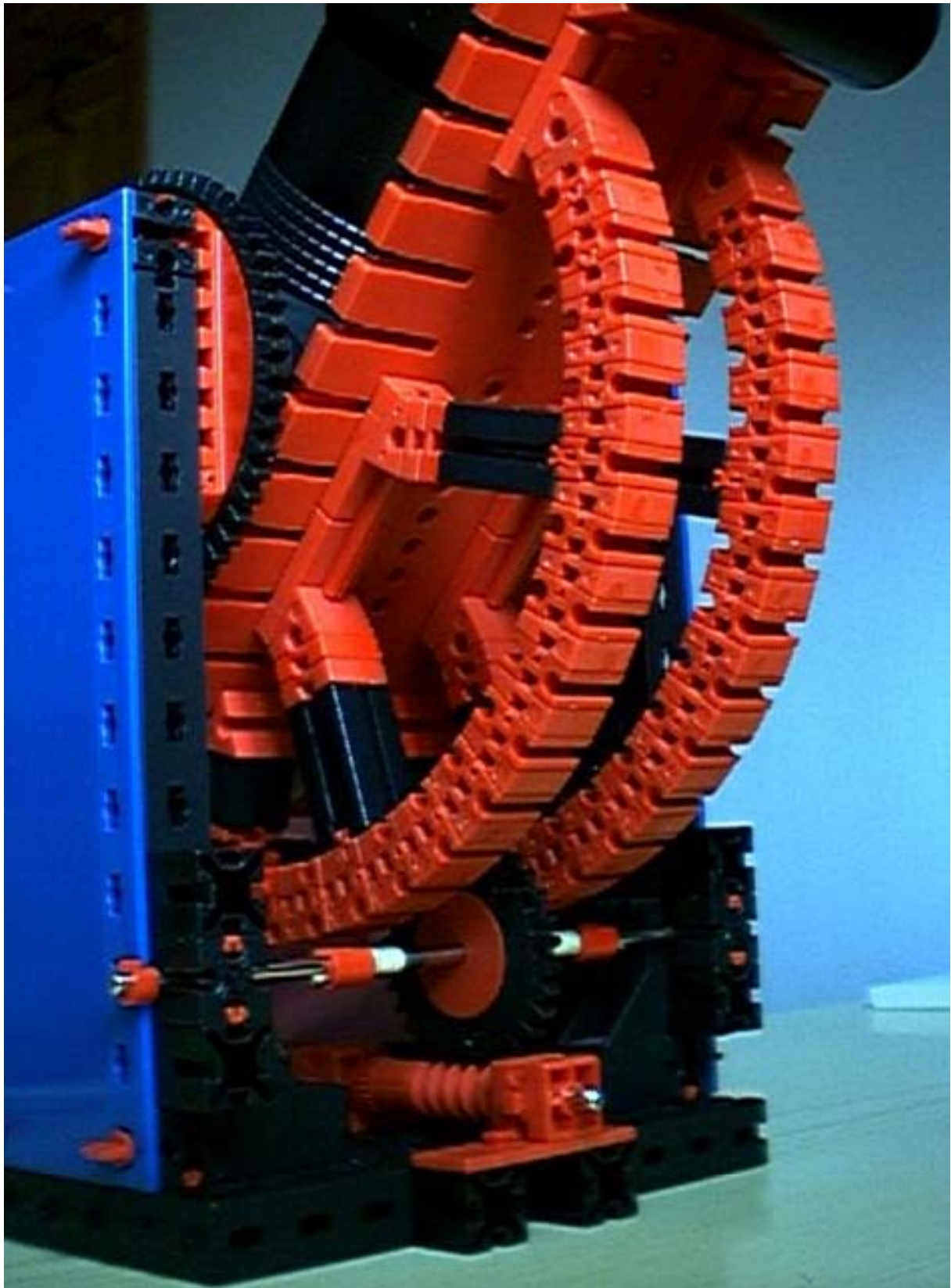


Abbildung 11: hochgezogene Höhenwiege mit großen Radbögen

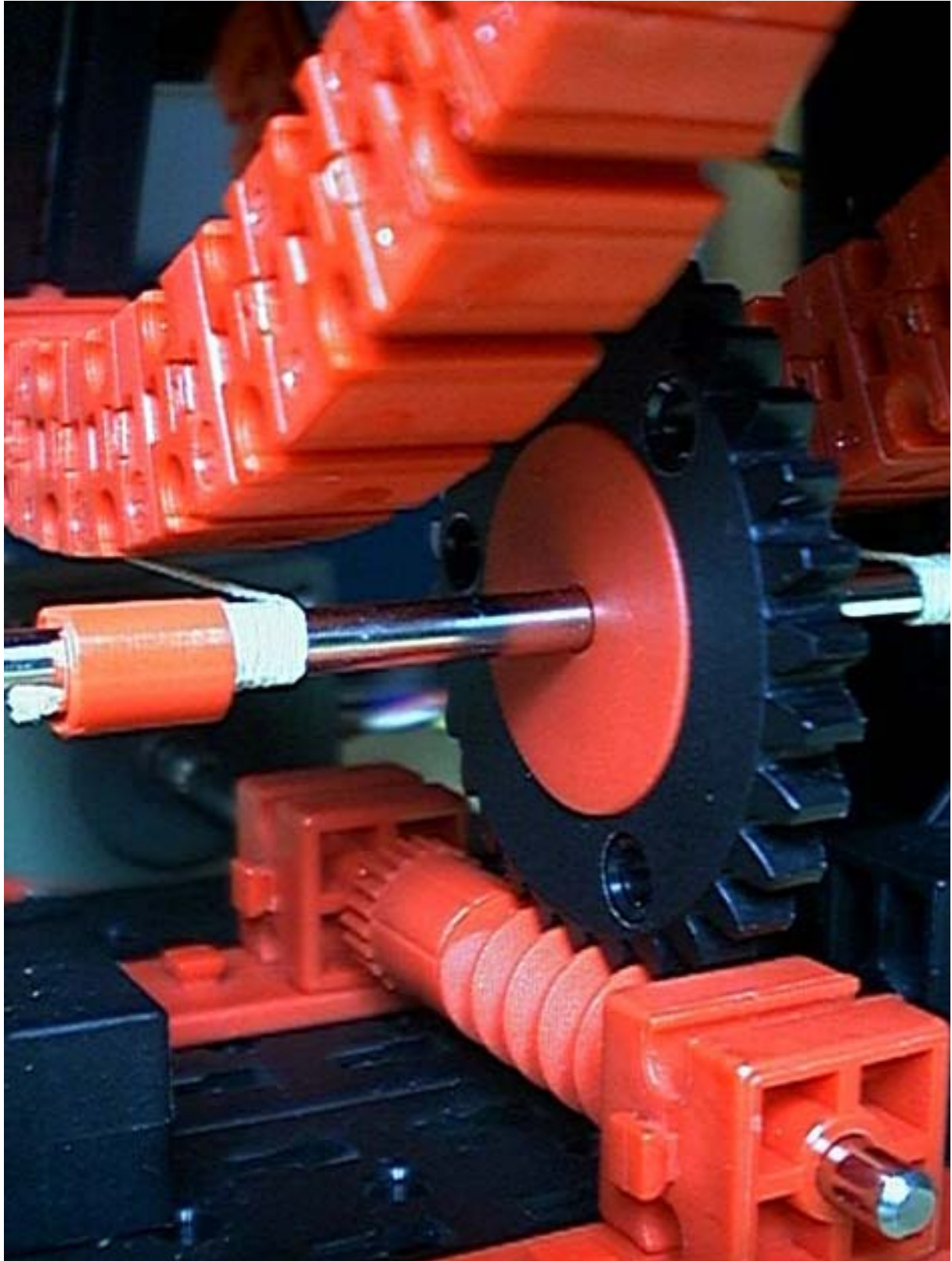


Abbildung 12: Zugschnur und Schneckenantrieb

Zusammengesetzt ergibt sich aus dem Großdrehkranz und der Höhenwiege eine insgesamt gut geeignete Montierung, die in der Lage ist, das Teleobjektiv feinfühlig und ruckelfrei zu bewegen.

Die technischen Daten sind:

Rotation: 0...360 Grad mit max. 1,7 Grad je Sekunde (500 Schritt/Sekunde)
min. Umkehrspiel 4 Schritte oder ca. 1 Bogenminute

Schwenk: -40...+50 Grad mit max. 1,2 Grad je Sekunde
kein Umkehrspiel

Tragkraft Rotor: max. 2 kg

Tragkraft Höhenwiege: max. 1 kg, dabei max. Kippmoment 0,05 Nm

Die Tragkräfte können höher ausfallen, wenn eine geringere Genauigkeit ausreicht.

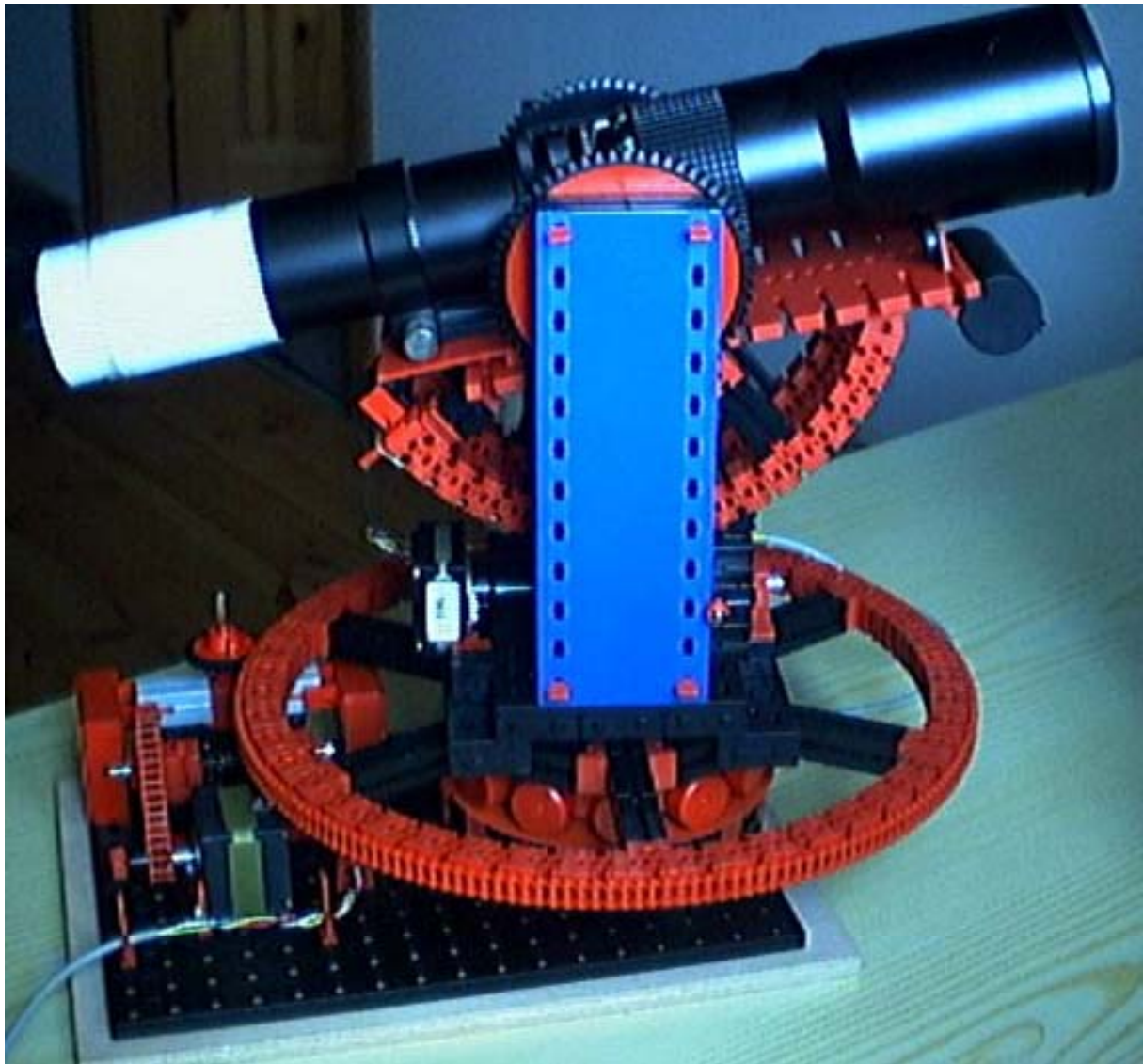


Abbildung 13: Gesamtmodell

5. Ausblick

Die Montierung erhält noch eine elektronische Steuerung, die die Steuersignale eines Analog-Joysticks in Frequenzen für die Schrittmotore umsetzt und noch eine zusätzliche Sucherkamera mit kürzerer Brennweite für die Zielfindung.

Das Ziel ist erreicht, wenn es gelingt, hochfliegende Flugzeuge anzuvisieren, zu verfolgen und verwacklungsfrei zu fotografieren. Ein 40 m langer Flugzeug erscheint in einer Entfernung von 5600 m formatfüllend und auf die 5 fache Distanz (28 km) noch immer ausreichend groß.

Abbildung 14 zeigt beispielhaft, welche Größenverhältnisse zu erwarten sind. In diesem Fall ist der Bildwinkel gut 0,6 Grad und damit ca. eineinhalbmals größer als in meinem Fall. Wer mir aber von unten her das Flugzeug beleuchtet, ist aber noch schleierhaft.



Abbildung 14: Erreichbare Größenordnung (Bild: RP-Online, Ausschnitt)



Abbildung 15: Mein erstes Ergebnis – es kommt hin.