

Gedanken zum Präzisionsplotter

Fischertechnik bietet bereits einen fertigen Plotter an. Sein Antrieb basiert auf Gewindespindeln mit Schrittmotoren. Das Chassis ist aus Aluminiumprofilen, was die Konstruktion sehr schön steif macht. Die Gesamtkonstruktion ist sehr schön schlank und sehr übersichtlich. Genau ist er aber nicht.

Schwer zu schaffen macht dieser Konstruktion nämlich das Spiel in den Gewindespindeln und die Übergangsstellen von einem Schneckensegment zum nächsten. Manchmal macht das Gewinde an solchen Übergängen echte Sprünge. Ebenso führen die Gewindespindeln nicht radial.

Das Spiel kriegt man aus den Spindeln sehr schön dadurch heraus, indem man die Schneckenmutter (37925) 2 mal auf die Schnecke tut und mit einer Druckfeder dazwischen gegeneinander verspannt. Egal in welche Richtung die Schnecke jetzt schiebt, die Schneckenmutter hat kein Umkehrspiel mehr. Allerdings muß eine Schneckenmutter axial verschieblich bleiben, aber gegen verdrehen blockiert werden.

Ich habe diesen Plotter im Prinzip nachgebaut und mußte einsehen, daß er für meine Zwecke nicht präzise genug ist. Die von mir angestrebte Genauigkeit ist mindestens 0,1 mm, mit der Hoffnung, es noch besser hinzukriegen.

1. Das Fundament

Wie jeder weiß, ist Fischertechnik weich und verbiegt sich mit jedem Wechsel von Kraftangriffen in irgendwelche Richtungen. Man braucht nur einmal ein Großmodell hochzuheben. Sogleich fragt man sich, an welcher Stelle man es wohl anfassen soll.

Hier hilft die Trennung der Aufgaben: wozu den Plotter beliebig steif bauen, wenn der Schreibtisch das viel besser kann. Also bleibt der Plotter stumpf auf dem Tisch stehen. Er muß nicht in jeder Lage Plotten können.

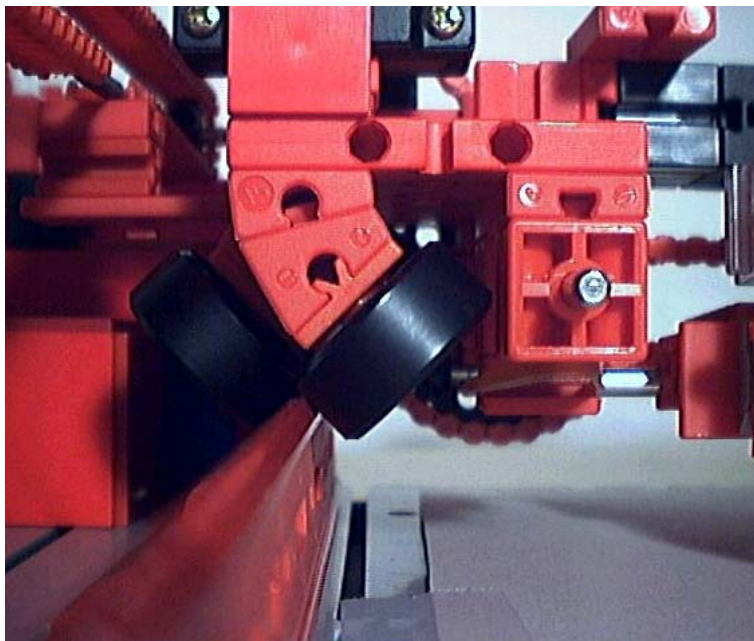


Bild 1: Die senkrecht stehende Schiene über der Grundplatte

Jetzt eignet sich die normale Grundbauplatte als Fundament. Auf dieser Platte wird eine Schiene befestigt, die dann eine Achse des Plotters führt. Die Laufschiene (36333) hat hochkant die höchste Steifigkeit, so daß sie das Gewicht der anderen Achse tragen kann. Quer dazu muß sie später aber die Reaktionskräfte der zu ihr senkrecht stehenden Achse aufnehmen. Die sind aber nicht so gewaltig. Die Prüfung der Laufschiene ergibt

dann auch noch, daß sie sehr schön gerade ist. Glücklicherweise hat man an dieser Stelle ein Aluprofil zu Hand, es ist einfach steifer und linealgerade.

Die gegenüberliegende Schiene hat im Gegensatz zur ersteren keine Querkräfte zu ertragen. Sie stützt lediglich das andere Ende des Querschlittens gegen die Schwerkraft. Beide Schie-

nen sind so befestigt, daß sie sich auf die Grundplatte stützen und so das Gewicht des Querschlitzens direkt nach unten abtragen ohne selbst nennenswert etwas zu tragen.

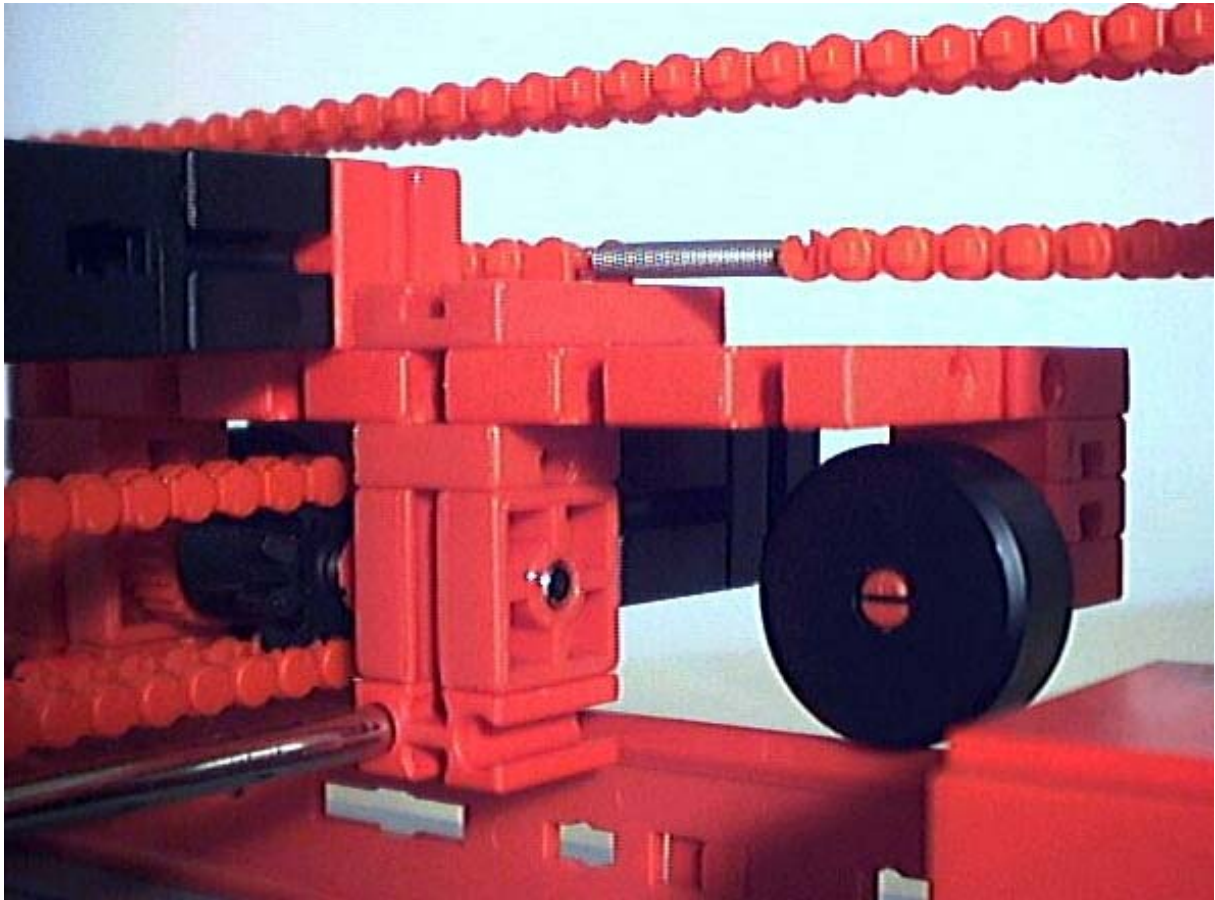


Bild 2: Schiene gegenüber, die nur in der Höhe führt, aber nicht quer

2. Der Querschleitten

Jetzt wird es erstmals richtig spannend: Der Querschleitten soll nämlich sehr leicht und vor allem *spielfrei* auf den Schienen laufen. Das Bild zeigt einen Wagen mit 4 Rädern, die jeweils paarweise gekreuzt angeordnet sind. Blickt man in Laufrichtung durch die Radanordnung, dann zeigt sich, wie die Laufflächen der Räder gegeneinander gekreuzt sind und die Schiene umfassen. Steht der Wagen auf einer Schiene,

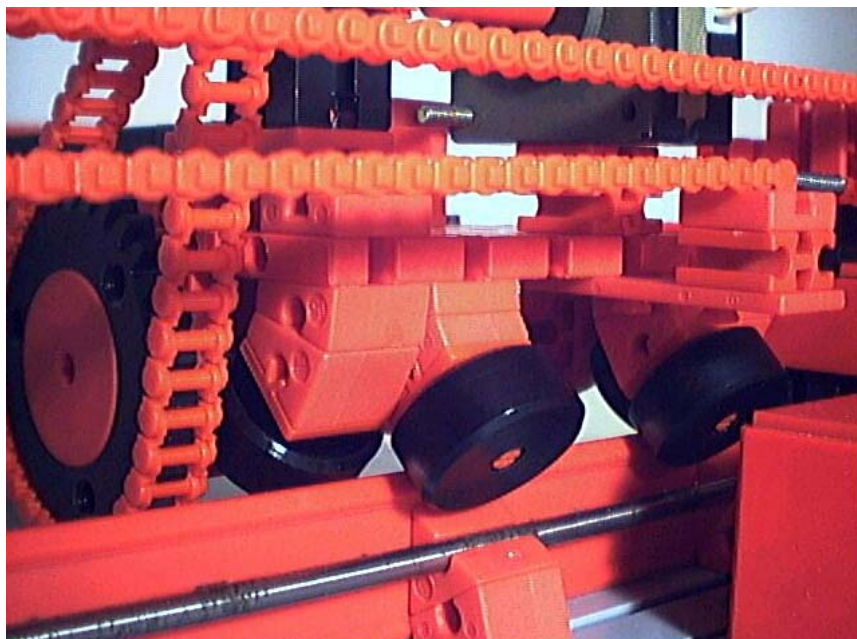


Bild 3: Gekreuzte Radpaare führen spielfrei.

dann hat er nur noch genau zwei Freiheitsgrade: er kann vorwärts und rückwärts über die Schiene rollen oder er kann nach rechts oder links von der Schiene fallen.

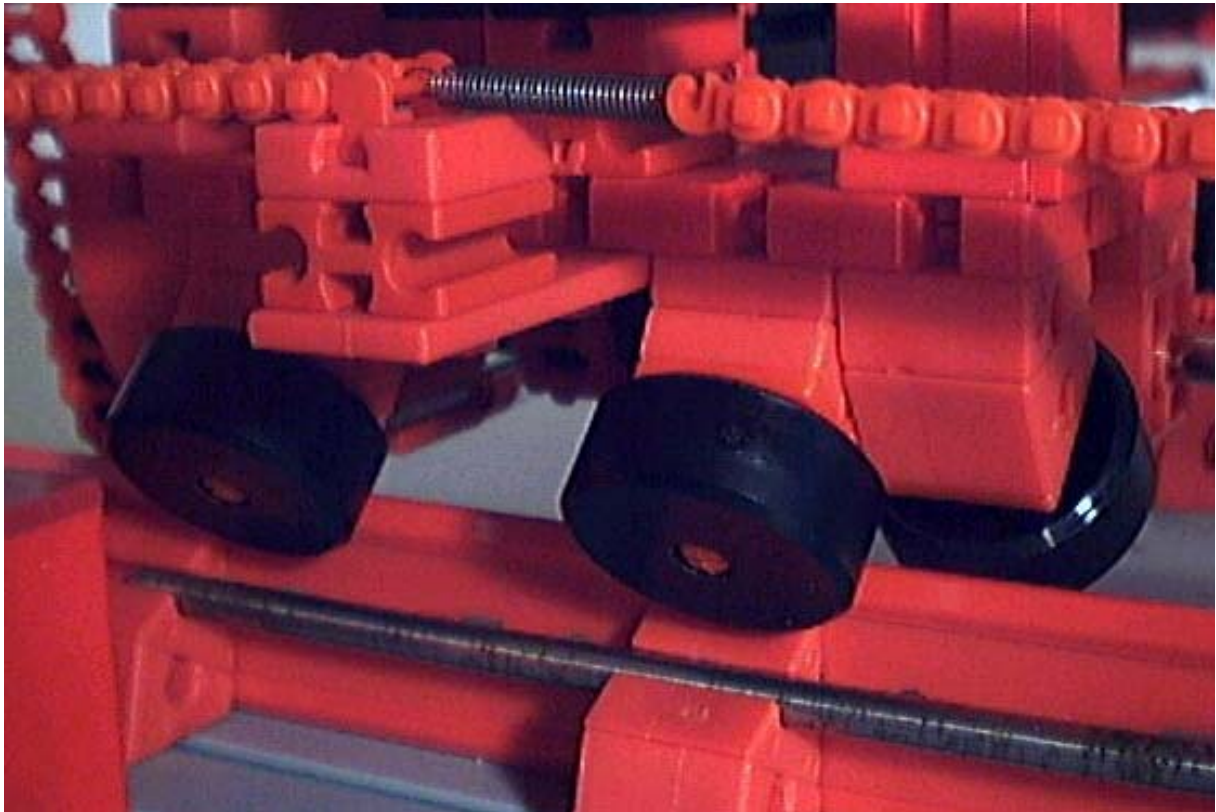


Bild 4: Andere Seite der Querschlittenführung, darunter die Laufschiene

Jetzt genügt eine Stützrolle auf der gegenüberliegenden Schiene und es verbleibt nur noch ein einziger Freiheitsgrad, nämlich der gewünschte Fahrweg vor- und zurück. Der Querschlitten mit dieser Radanordnung ist kinematisch exakt, er ist prinzipiell spielfrei, da sich irgendwelche Spiele in den Rädern stets wegheben. Selbst wenn man an dem Querschlitten ruckelt, ist kein Spiel feststellbar.

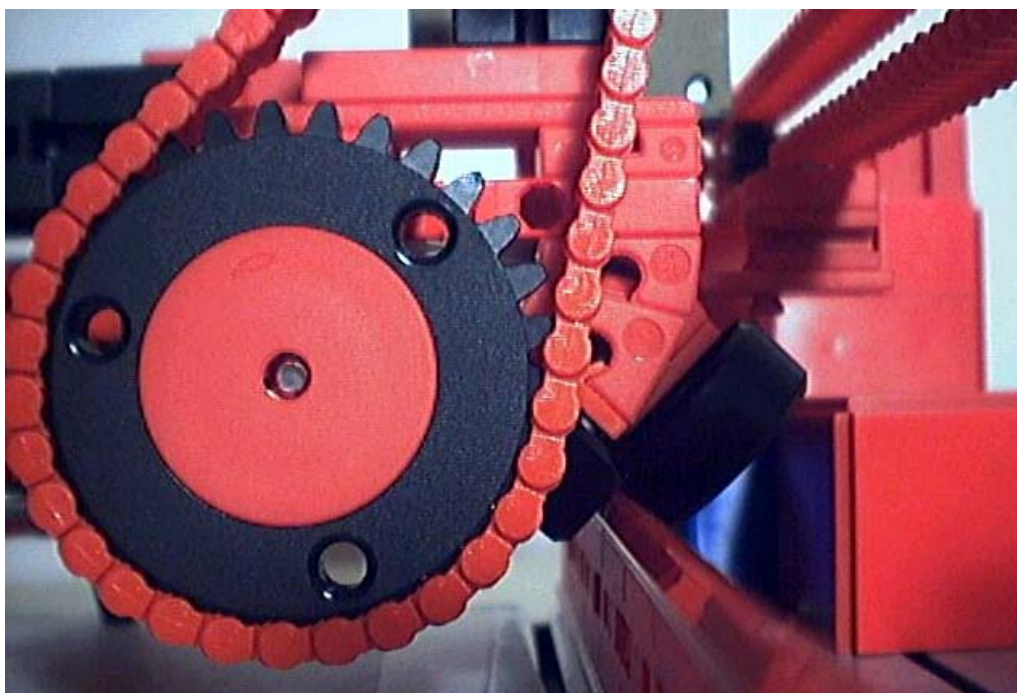


Bild 5: Laufschiene und die gekreuzten Räder am Querschlitten, sowie der Kopf-antrieb

Die praktische Ausführung des Querschlittens wird dann doch mit zwei Rollen ausgeführt, um der mangelhaften Steifigkeit des Materials gerecht zu werden. Allzusehr soll sich der Schlitten bei seiner Arbeit dann doch nicht verformen.

3. Die Führung des Plotterkopfs

Das Gewicht der Fundamentierung ist irrelevant, da es nicht bewegt wird. Ganz anders beim Querschlitten und beim Plotterkopf. Während sich der Querschlitten noch massig auf die Schienen stützen kann, darf die Führung des Plotterkopfs nicht zuviel Masse auf die Waage bringen. Also müssen 2 parallele Wellen ausreichen. Sie sind sehr schön gerade und von perfekter Steifigkeit.

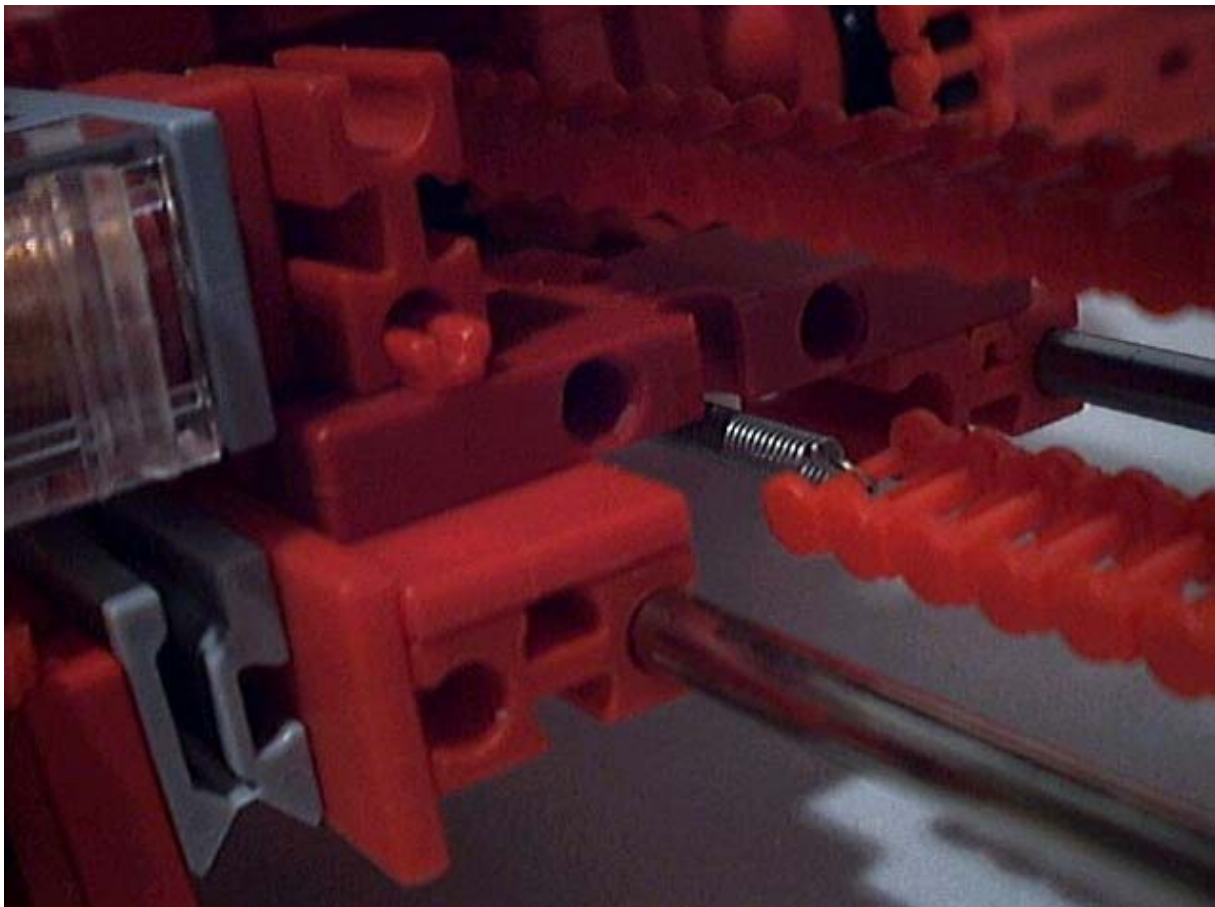


Bild 6: Lagerung des Plotterkopfs auf 2 Stahlwellen, sowie die Kettenfeder

Wie im Bild zu erkennen ist, bilden rote Bausteine 7,5 die Führung des Plotterkopfs. Vorerst. Diese Führung weist Spiel auf und begrenzt so die Genauigkeit des Plotters. Ein Verspannen der roten Bausteine gegeneinander kann das Spiel herausdrücken, es wird dadurch aber nicht wirklich gut und die Reibung nimmt zu. Größere Reibungskräfte verformen den Antrieb stärker und beschränken wiederum die Genauigkeit.

4. Der Plotterkopf

Stundenlanges Ausprobieren führt letztlich zu der abgebildeten, recht kompakten Stiftaufnahme am Kopf des Plotters. Jedes Gramm, das hier gespart wird, vermindert die Reaktions-

kräfte beim Beschleunigen und Bremsen. Wie oben bereits erwähnt, führen Kräfte zu Verformungen und Verformungen zu begrenzter Genauigkeit.

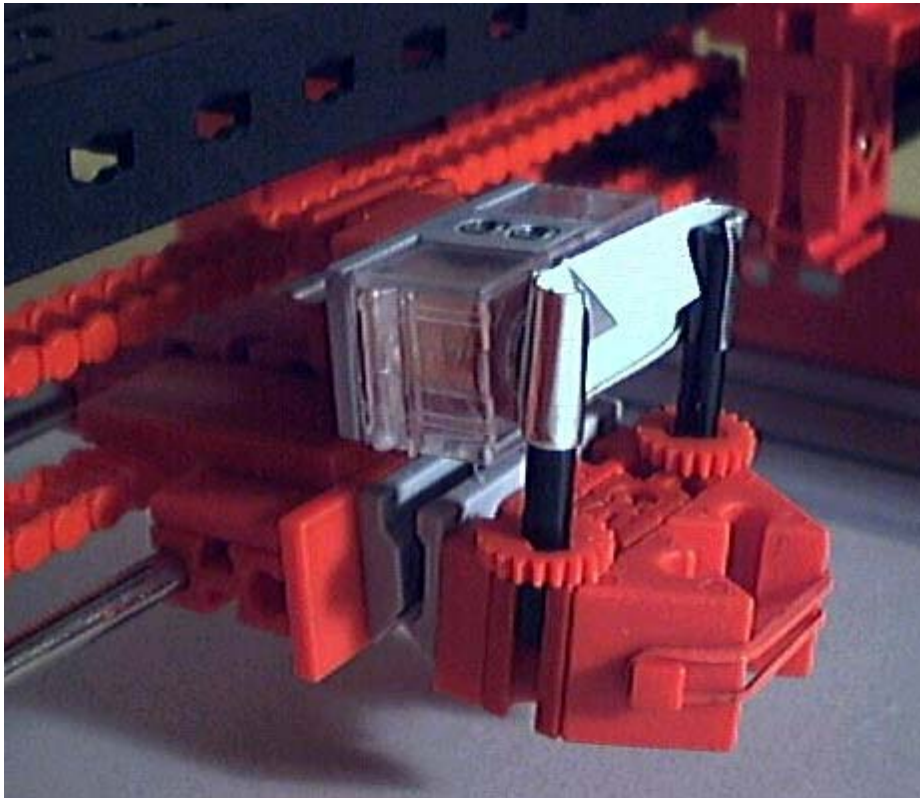


Bild 7: Der Plotterkopf ohne...

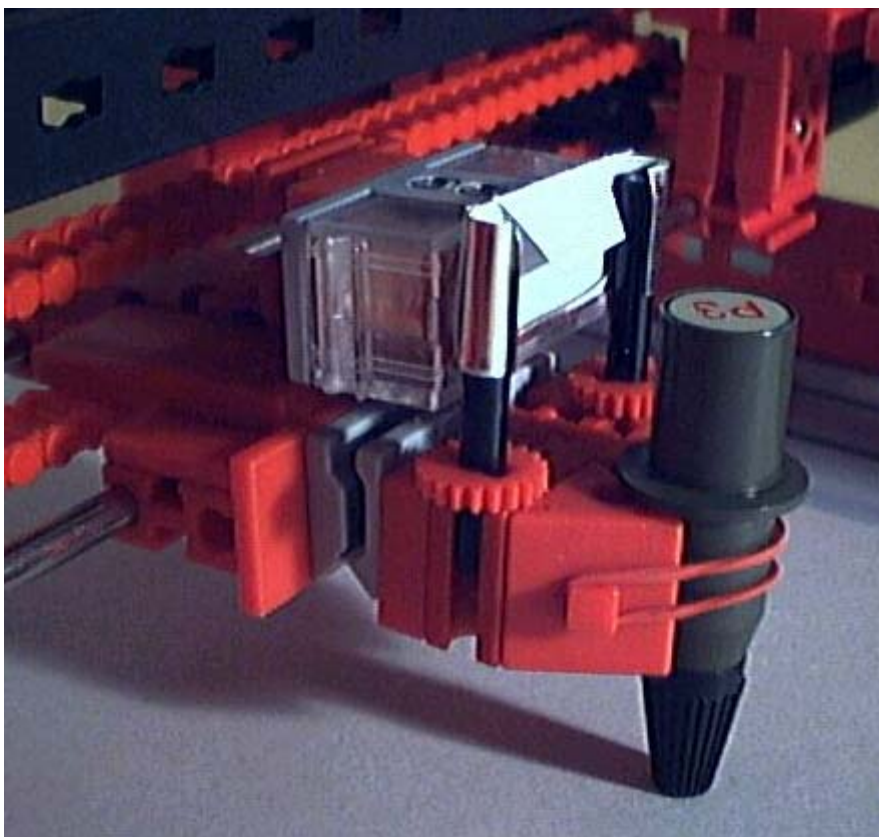


Bild 8: ... und mit Plotterstift

Das Heben und Senken des Stifts erfolgt bei dem hier abgebildeten Plotterkopf mittels Drehung. Der Elektromagnet zieht einen Blechstreifen zu sich hin und klappt damit den Stift hoch. Sehr angenehm: die Klappscharniere, die ich immer für kapputbar gehalten habe, arbeiten spielfrei und sind äußerst kompakt.



Bild 9: Plotterkopf in Seitenansicht zeigt das Blech, um den Kopf magnetisch zu heben.

5. Der Kettenantrieb

Am Plotterkopf ist der Antrieb am einfachsten. Hier reicht eine Kette, die den Plotterkopf hin- und herzieht. Damit das Ganze spielfrei bleibt und nicht kneift, ist die Kette offen und wird mit einer Zugfeder geschlossen.

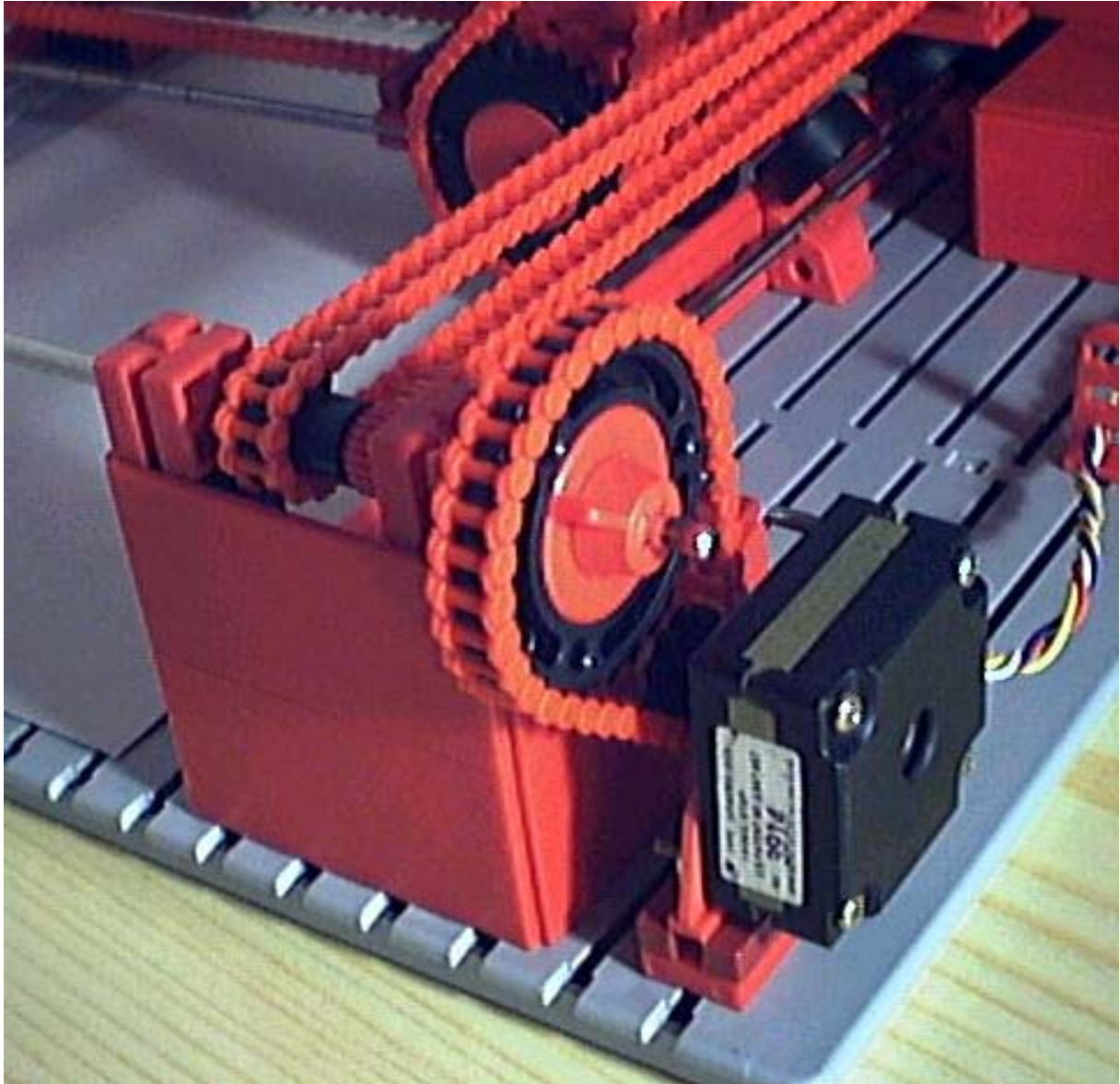


Bild 10: Kettenantrieb der y-Achse

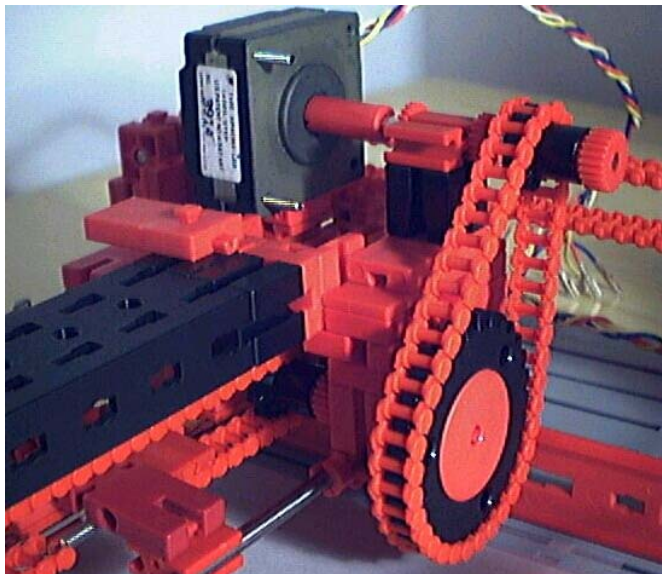


Bild 11: Kettenantrieb der x-Achse

Am Querschlitten ist die Sache schwieriger. Eigentlich dürfte der Querschlitten nur von einer Kette angetrieben werden, die den einzigen verbleibenden Freiheitsgrad bedient. Aber dafür ist Fischertechnik nicht steif genug und so muß ich den Querschlitten wohl oder übel auch an der gegenüberliegenden Seite mit einem Antrieb versehen. Jetzt ist es aus mit den so schön ausgedachten Prinzipien, aber im Moment fällt mir nichts Besseres ein.

Ein Vorteil haben die beiden Ketten: man kann sie gegeneinander verdrehen und damit den exakten rechten Winkel der beiden Plotterachsen einstellen. Wie später noch zu sehen ist, ist das auch notwendig.

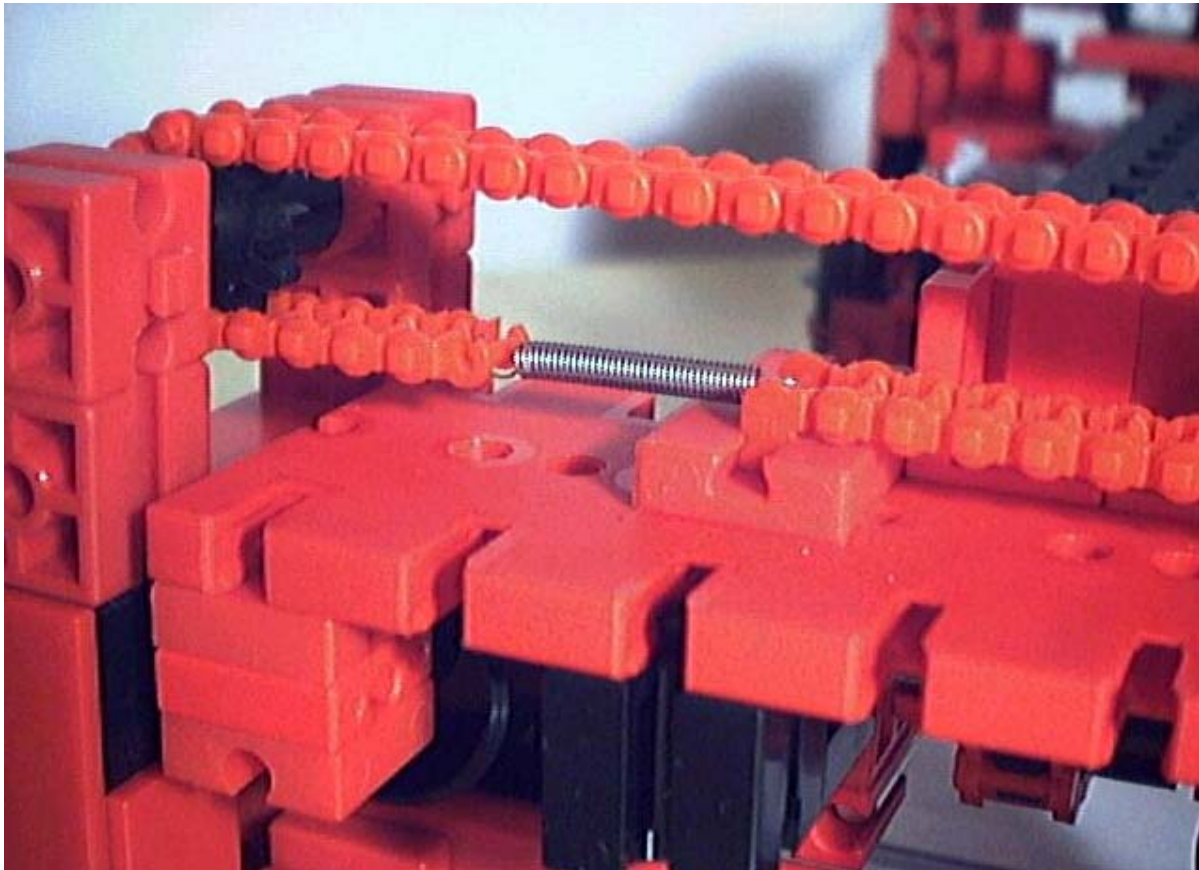


Bild 11: Kettenantrieb der y-Achse mit Feder für konstante Kettenspannung

Auch die Ketten des Querschlittenantriebs sind mit Zugfedern versehen, deren Vorspannung größer sein muß, als die größten Trägheitskräfte gegen die Beschleunigungen des Querschlittens. Reicht die Vorspannung nicht hin, dann gibt bei einem Motorschritt die Feder zunächst nach und erst dann folgt der Querschlitten der gewünschten Bewegung. Die Beschleunigungskraft ist dann durch die Zugkraft der Feder beschränkt. Der Plotter springt dann nicht von Position zu Position, sondern schwingt um die Sollpositionen.

6. Die Motore und das Getriebe

Bei diesem Plotter sind die Motore kaum gefordert. Die Lastmomente sind gering, die zu bewegenden Massen sind so klein wie möglich gehalten. Von daher reicht es diesen Motoren hin, wenn sie mit 6 Volt betrieben werden. Die Stromaufnahme ist dann 160 mA je Motor. Zur Ansteuerung reichen dann einfache Transistoren. Der Ansteueraufwand ist etwas höher,

da es sich um bipolare Motore handelt. Wie man an den Steuerungen erkennt, sind das 8 Transistoren je Motor.

Die Schrittauflösung beträgt 200 je Umdrehung, dann kommt eine Übersetzung 1:3 und ein Ritzel von 10 Zähnen treibt die Kette. Die Kettenteilung beträgt 4,71 mm. Damit folgt eine Schrittauflösung auf dem Papier von 0,079 mm. Das ist für den Anfang ganz ok.

7. und das Ergebnis...

Im ersten Versuch ist das Ergebnis doch sehr ernüchternd. Das Bild zeigt, daß die Kunststoffkonstruktion mit den Beschleunigungs- und Reaktionskräften überfordert ist. Die Schwingungsamplituden erreichen bis zu 0,5 mm. Kein Wunder, die Motoren arbeiten mit Geschwindigkeiten bis 500 Schritt/s oder einer Stiftgeschwindigkeit bis 4 cm/s.

Eine Halbierung der Geschwindigkeit liefert ein wesentlich verbessertes Ergebnis. Bei genauem Hinsehen sind aber immer noch Abweichungen zu erkennen.

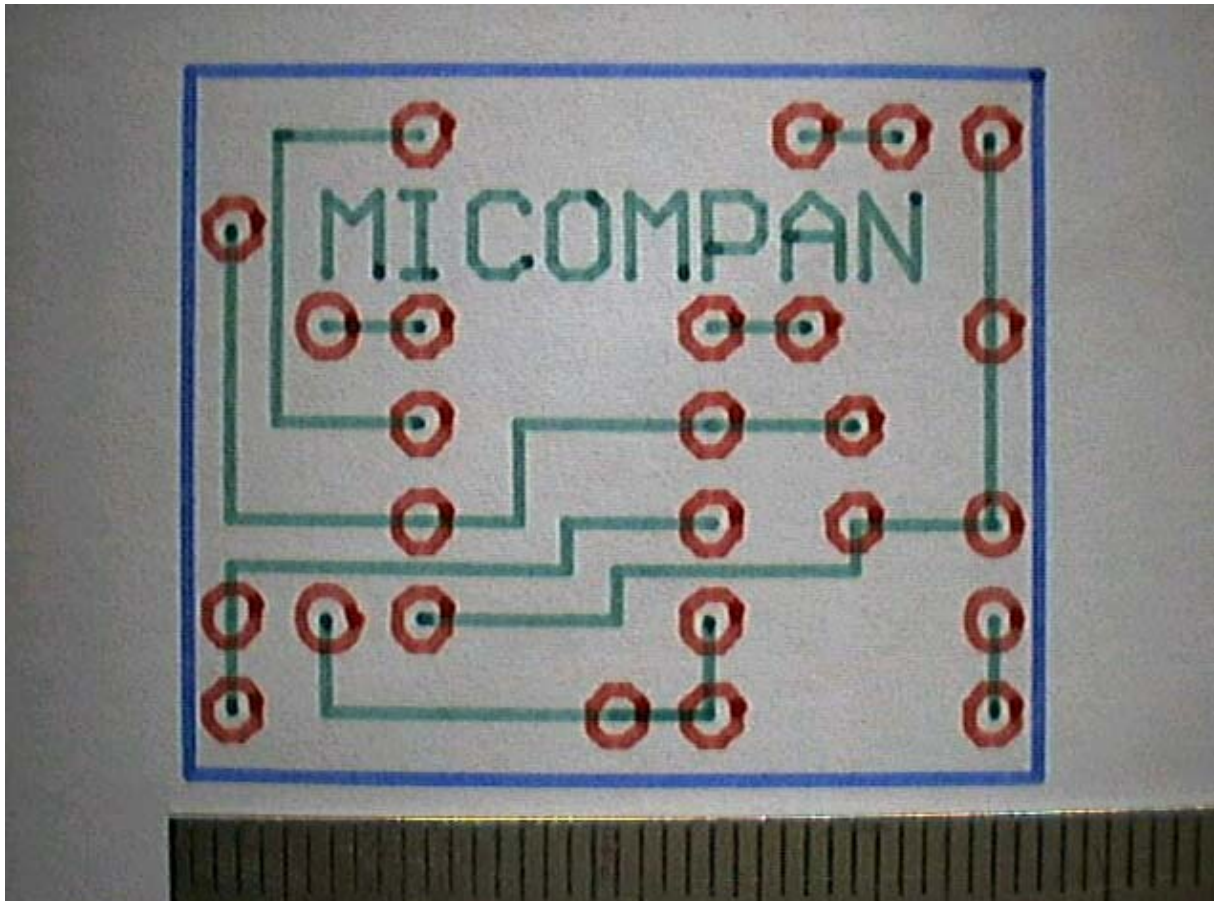


Bild 12: Testplot nach Herabsetzen der Geschwindigkeit

8. Ausblick

Der Bau eines ganz ordentlichen Plotters ist innerhalb weniger Tage gelungen. Er muß aber noch wesentlich verbessert werden. Dazu zählen folgende Punkte:

- Der Antrieb des Querschlittens ist auf der linken Seite zu weich. Der Ausleger zur Kette hin gibt bei Richtungswechseln nach. Eventuell sollte der Antriebsmotor des Querschlittentriebs nach vorne verlegt werden, damit er näher an den Plotterkopf kommt. Dadurch kann der Antrieb nochmals steifer werden.

- Der Plotterkopf hat noch Spiel. Das muß ganz raus. Eventuell muß ein kleinerer und leichter Magnet her.
- Es ist zu prüfen, ob die Endschalter stets und immer auf der gleichen Position schalten. Bei der jetzigen Auflösung ist das noch kein Problem. Sollten aber eines Tages die neuen Schrittmotortreiber in Gang kommen, erhöht sich die Auflösung auf das Achtfache. Mal sehen, ob Fischertechnik dann noch mitmacht.
- Der Querschlitten ist zu groß, zu schwer und überhaupt nicht kompakt. Er ähnelt eher altertümlicher Elefantenarchitektur als modernen Maschinenbaus. Das gilt für den ganzen Plotter. Das muß alles viel kompakter werden.

Möglicherweise gelingt im zweiten Anlauf ein sehr viel besserer Plotter, in den dann auch ein DIN-A4-Blatt hineinpaßt.

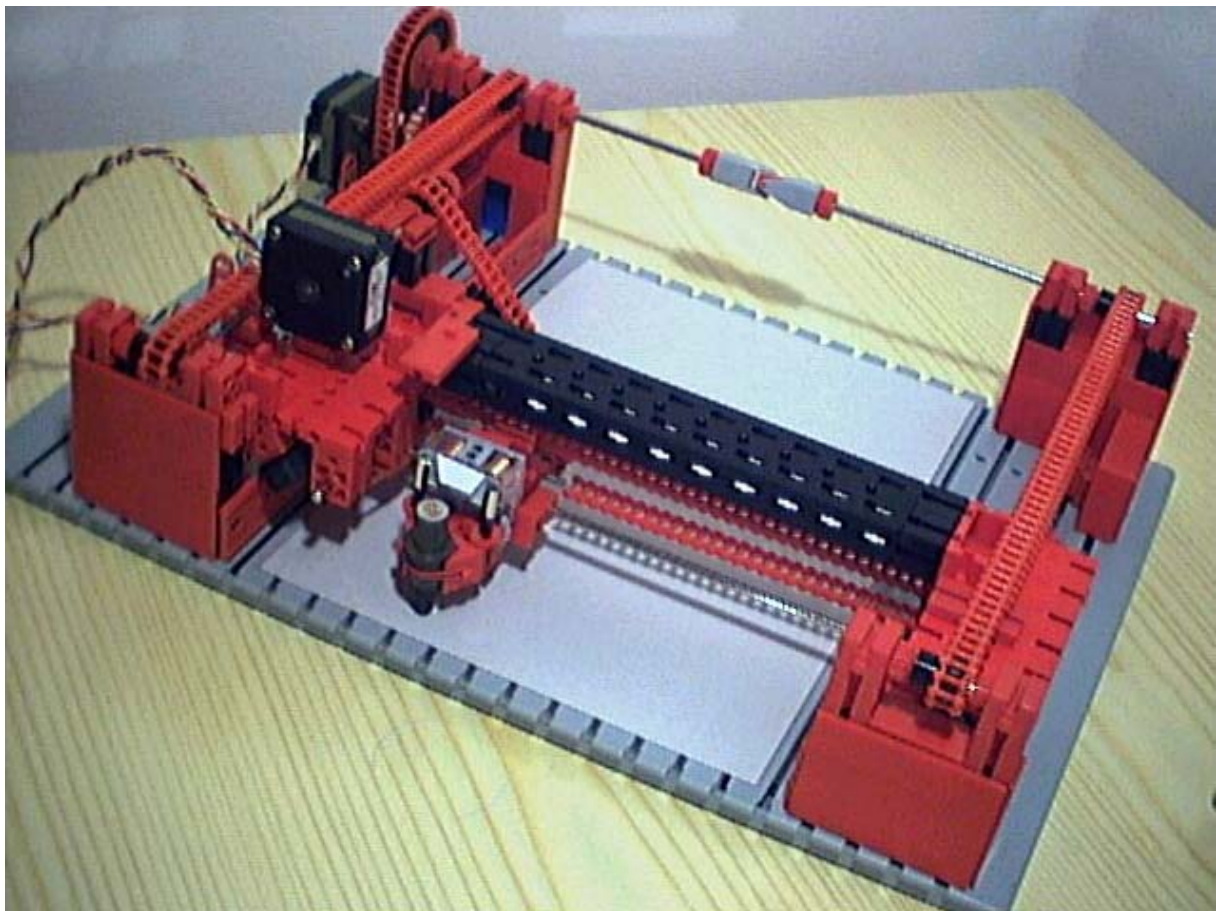


Bild 13: Gesamtmodell