### Leinen MLZ4S Drehmaschine: Teil 3

## 1 Einleitung

Noch nie hat ein Reparaturprojekt bei mir drei Teile gebaucht. Aber diesen Bericht als ein einziges, gemeinsames "Buch" zu schreiben, würde wahrscheinlich sowohl meinen Windows10-PC als auch die geschätzte Leserschaft überlasten. Mit bislang 182 dazu veröffentlichten Seiten für Teil 1 und Teil 2 wäre das hier mein bislang längstes, dokumentiertes Projekt.







Abbildung 1: Teil1: Abholen; Teil2: Getriebe reparieren; Teil3: Geometrie verbessern

Nochmal kurz zusammengefasst: **Teil 1** behandelt ja, wie ich die Maschine bekommen habe und welche Hürden dazu überwunden werden mussten. Es war mehr eine Art "Erlebnisbericht".

**Teil 2** war ursprünglich geplant als eine reine "Low-Brainer" Ölwechsel- und erste Inbetriebnahme-Orgie, artete nach dem Zerschneiden des teuren Flachriemens jedoch in eine Komplettrestauration inklusive sich andeutender geometrischer Überholung aus. Ein leckender Wellendichtring zwang mich zum Öffnen und Instandsetzen des e12-Getriebes, geänderte Sicherheitsvorschriften zum Anpassen der Verkabelung an heutige Elektroinstallationen.

Dieser **Teil 3** endet mit dem nahezu vollständigen Auseinander- und wieder Zusammenbau der Maschine und mit einer erneuten Kontrollvermessung des -bereits geschabten- Bettes auf der Granitplatte.





Abbildung 2: Dieser Teil3 wird Wilma vom linken zum rechten Drehergebnis bringen!

## 2 Wilma!

Gleich vorneweg: Es ist sehr erstaunlich, wie nahe ich dem geometrischen Endergebnis bereits mit meinen in Teil2 aufgelegten Tuschierlinealen und Messuhren gekommen war. Die Vermessung auf der Granitplatte hier in Teil3 bestätigte im wesentlichen nur noch einmal meine bereits durchgeführten Geometrie-Korrekturen, was eine sehr gute Nachricht für alle diejenigen ist, die eine Maschine überholen wollen, sie aber aus Gewichts- oder anderen Gründen (z.B. Aufwand, Vorhandensein von Kränen usw.) nicht komplett demontieren und auf eine Granitplatte zur Vermessung stellen können: man KANN ein Maschinenbett auch in weitgehend montiertem Zustand vernünftig einschaben!



Abbildung 3: präzise vermessene Prüfmittel sind hier essenziell! (die blauen Ziffern sind hier in [µm]!)

Meine Leinen MLZ4S passt ja noch gerade so auf meine 1000x630mm Tuschierplatte, daher habe ich mir diese finale Überprüfung einfach nochmal zusätzlich "gegönnt". Man darf auch nicht vergessen, dass ich mich noch immer als Schabe-Laie betrachte, der über jede Form von Bestätigung (mündlich von Jan Sverre Haugjord oder eben auch "schriftlich" von meiner Granitplatte ③) dankbar ist! Denn nichts wäre schlimmer, als eine teure Präzisionsmaschine mit hohem persönlichen Zeit- und Kraftaufwand so richtig kaputt zu schaben, nur weil man auf einem Holzweg ist, einem das aber niemand sagt.



Abbildung 4: Überprüfung der Geometrie

Das Tuschieren als Ganzes auf der Granitplatte gab mir nochmal die Möglichkeit, alle Flachführungen (auch die Oberseiten der Prismenführungen) auf wirklich eine gemeinsame Ebene zu bringen. Zwingend notwendig ist das eigentlich nicht, denn nur die hintere Flachführung muss in sich gerade und auf einer Ebene sein. Alles Weitere ist "Kür" und auch das Korrigieren der Parallelität zwischen den Füßen und den Führungsflächen ist so ein Fall. Ich hab's trotzdem gemacht- vorwiegend jedoch aus Gründen der Ästhetik. Und weil es Jan Sverre gemeint hat ③. Denn wenn ich nun schon schabe, dann richtig. Und vollständig. Ich will die Maschine nicht in einem Jahr erneut zerlegen müssen, nur weil ich heute aus Bequemlichkeit einen Arbeitsschritt absichtlich übersprungen habe.

Der aktuelle Stand ist also der, dass ich das Maschinenbett mit der Granitplatte nochmal überprüft und ein leichtes "Touch-Up" gegeben habe; also nochmal ein paar Feinschabedurchgänge für jede Führungsfläche und eine anschließende Kontrolle per Messuhr.

Die Flächen von der Unterseite, die mich damals zum Überkopf-Schaben gezwungen hatten, habe ich natürlich auch nochmal einem Schabedurchgang unterzogen; hier entdeckte und bereinigte ich tatsächlich nochmal 20µm Schieflage. Witzig war, dass ich von diesen 20µm Abweichung auch ohne die Granitplatte bereits wusste, allerdings wegen des extrem anstrengenden Überkopf-Schabens hier ursprünglich keine Korrektur mehr machen wollte. Jetzt, wo ich das Bett jedoch bequem kopfüber auf die Werkbank legen kann, war das jetzt alles kein Problem mehr.

Das Bett betrachte ich also nun als "fertig". Endlich!

## 3 Fußpilz

Als nächstes geht es darum, das Maschinenbett auf seinen Unterstand zu stellen. Auch hier wird tuschiert und geschabt, denn der Einsatz des Bandschleifers von meinem Vorbesitzer ist leider auch hier nicht zu übersehen. Dicke Riefen auf der Oberfläche der Unterstand-Kontaktfläche zwingen mich zum Abtrag ganzer "Spänehaufen"- und eben sind die beiden Flächen auch nicht wirklich zueinander. Ich benutze mein 1m Tuschierlineal, um die Kontaktflächen erstmal Schritt für Schritt zu ebnen. Tut man das nämlich nicht, steht das Bett nachher nicht überall gleichmäßig auf dem Unterstand. Es könnte kippeln und -wenn man es dann trotzdem mit den Bolzen am Unterstand mit Gewalt anschraubt- sogar verziehen! Und damit wäre die ganze Schaberei am Bett für die Katz gewesen!



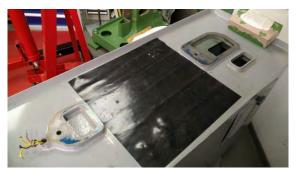


Abbildung 5: erstes Tuschieren des Unterstands und das Ergebnis

Das wollen wir natürlich nicht. Eine ebene und gerade Anschlussfläche ist also ein Muss und darauf werden wir nun Schritt für Schritt hinarbeiten. Etwas problematisch ist, dass das Material des Unterstands offensichtlich kein Grauguss ist, sondern mich eher an Stahl erinnert. Vielleicht Stahlguss? Ich bin leider kein Materialexperte und kann nur mutmaßen. Auf jeden Fall sehen die geschabten Späne anders aus und die Gefahr von "Chatter" ist hier viel größer als beim Schaben des Maschinenbetts. Möglicherweise liegt das aber auch an dem riefigen Bandschleiferuntergrund, denn gerade quer zu den Sandpapier-Riefen ist der vermeintliche "Chatter" am schlimmsten und sieht furchtbar aus!



Abbildung 6: furchtbares Finish beim Schaben am Unterstand

Soweit ich weiß, muss man beim Schaben von Stahl seine Klingen vorher umschleifen. Das möchte ich jedoch nicht, denn die 1Zoll und 140mm lange Schabeklinge hat mir gerade der Weihnachtsmann gebracht und an der möchte ich jetzt nicht gleich extra dafür gleich millimeterweise von der kostbaren Hartmetallklinge für einen Umschliff opfern. Also akzeptiere ich das leichte Chattern und benutze die üblichen 3..5° negativ. Wenn die Klinge scharf ist und man den Biax etwas flacher und mit weniger Druck anstellt, sieht die erreichte Oberfläche aber auch so ganz passabel aus. Denn bedenke: dass hier ist ein "static fit"; d.h. hier wird das Maschinenbett einmalig auf den Stand gestellt und dann miteinander fest verschraubt. Hier gleitet nix aufeinander, hier reibt nix. Hier würden meines Wissens nach auch locker 5ppi ausreichen, um die Maschine sauber aufzustellen.

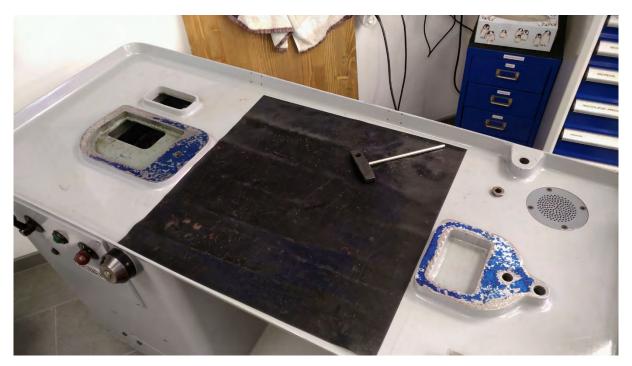


Abbildung 7: Fortschritte- aber noch nicht ok!

Ich benutze mein frisch sauber nachgeschabtes 1m Tuschierlineal und prüfe die Drehpunkte. Bei ungleich großen Auflageflächen muss man jedoch aufpassen- hier liegen die optimalen Punkte nicht immer automatisch bei 1/3 und 2/3tel der Lineallänge. Man muss hier ein wenig seinen Grips anstrengen und sich vorstellen, welchen Einfluss welche Geometrie auf den korrekten Drehpunkt haben könnte. Ich prüfe und stelle fest, dass die Flächen im Bereich des Anzugsbolzens noch etwas hoch sind. Das beweist auch das etwas schwache Abdruckbild der Tuschierfarbe. Also nochmal angespitzt den Schabemeißel und weiter.

Leider kann ich die Unterschiede in der Höhe hier nur mit der Fühlerblattlehre unter dem Tuschierlineal ertasten und nicht messen. Der Grund: ich bräuchte dafür einen 1m langen Tuschierbalken, auf den ich von oben einen Messuhrhalter draufstellen und von dort nach unten messen könnte. Auf so einen (Granit)-Balken bin ich immernoch scharf, aber bislang habe ich leider noch keinen. Mein 1m Tuschierlineal ist eine "Camelback"-Ausführung, damit kann man zwar hervorragend tuschieren, aber nicht auf der Rückseite eine Messuhr draufstellen. Schade, aber ich werde es auch so schaffen.

### 4 Anprobe

Nachdem die Kontaktflächen vorbereitet sind, benutze ich nun die bereits eingeschabten Füße von Wilma als Master und tuschiere sie auf den Unterstand. Theoretisch sollte sofort alles passen, denn beide Teile (Unterstand und Wilmas Füße) wurden ja beide jeweils für sich bereits gerade und eben geschabt. In der Praxis muss man den Kontaktpartner aber trotzdem immer noch was "optimieren". Dazu deklariert man den einen Partner als "Master", den anderen als "Slave". Der Master (=Wilmas Füße) wird mit Tuschierpaste eingeschmiert, dann auf den Unterstand (="Slave") gestellt und tuschiert. Der Slave wird geschabt, so dass er dann am Ende bestmöglich zu Wilmas Füßen passt. Wie beim Schuhekauf: da würde auch nie jemand eine Fuß-OP machen, nur damit er nachher dann zum Schuh passt. Hier wird man auch immer nur den Schuh (="Slave") bearbeiten, damit er sich dann bestmöglich an den vorgegebenen Fuß (=Master) anschmiegt.



Abbildung 8: Das Bett als Tuschiermaster für den Unterstand

Nach doch signifikant vielen Durchgängen bin ich mit dem Ergebnis zufrieden. Nicht perfekt, aber bitte: wenn ich jede Fläche meiner Drehe auf 40ppi schaben will, wird später auf meinem Grabstein stehen: "Er hat seine Drehe zwar nie fertig gekriegt- aber die Kontaktflächen hatten beeindruckende 80ppi!". Und auch beim Schuhekauf hatte er immer seine Probleme ©



Abbildung 9: klar, "besser" geht immer, aber irgendwo muss man auch mal aufhören, wenn man fertig werden will!

## 5 Sattel korrigieren

Als nächstes geht es darum, den Sattel rechtwinklig zum Maschinenbett zu machen ("rechtwinklig" im Sinne von "quer zum Bett"). Nach genauer Verdeutlichung der Situation bin ich mir sicher, dass das auch wieder keine Auswirkung auf die Präzision der Maschine haben wird, sondern eher aus ästhetischen Gründen ratsam ist.

Wie ich schon auf der Maschine selbst durch Messuhreinsatz festgestellt hatte, neigt sich der Sattel in Richtung Benutzer um etwa 150µm. Das will ich korrigieren, so der Plan.

### 6 Oder doch nicht?

Aber bevor ich hier irgendwas schabe, halte ich kurz inne, ob ich hier nicht zu kurz gesprungen bin. Denn: wenn ich den Bettschlitten geometrisch verändere, wird das definitiv Einfluss auf die Position und den Sitz der Schlossmutter (also die, die beim Gewindeschneiden in die Leitspindel greift) haben. Und hier ist es nicht nur wichtig, dass diese Leitspindel genau parallel zum Maschinenbett läuft, sondern auch, dass die Schlossmutter beim Schließen genau mittig auf die Leitspindel aufsetzt- und nicht verbiegt oder gar klemmt!

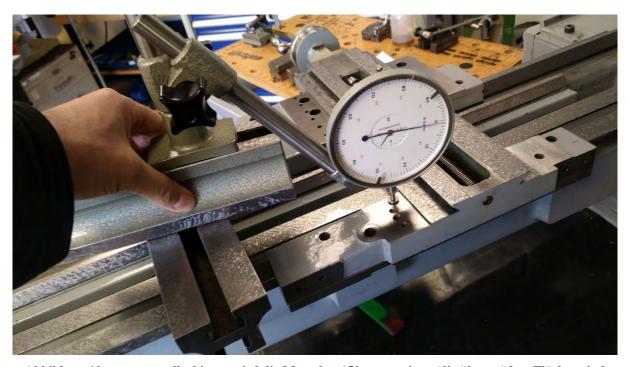


Abbildung 10: vorne genullt; hinten wird die Messuhr -150µm anzeigen (die überprüften Flächen sind meines Wissen nach zum Anbringen von Lünetten gedacht)

Aber das werden wir testen, keine Bange.

# 7 Parallelität der Leitspindel

Weil ich ja inzwischen gelernt habe, dass ich bezüglich Geometrie bei dieser Maschine auf NICHTS vertrauen darf, stelle ich mir nun angewöhnt grundsätzlich erstmal alles in Frage zu stellen, was ich nicht selber gemessen oder eingeschabt habe.

Und bei der Leitspindel wird dieses Misstrauen auch wieder bestätigt!

Die Leitspindel ist links in den Multiplikatorkasten eingesteckt und wird von dort angetrieben. Rechts steckt sie in einem Lagerbock. Beides (Multiplikator und Lagerbock) sind mit Pass-Stiften im Maschinenbett in der Lage fixiert und festgeschraubt.



Abbildung 11: Setup für die Messung der Parallelität der Leitspindel

Wie man eine Leitspindel misst, habe ich mir bei Großmeister Jan-Sverre Haugjord in einem seiner Videos über die Myford Super7 abgeguckt. Mit einem Fühlhebeltaster fährt man auf der Oberseite der Leitspindel entlang und sucht auf einem Gewindegang das Maximum. Darauf nullt man die Uhr. Wir machen das an der linken Seite direkt am Multiplikatorkasten.



Abbildung 12: Nullen der Messuhr an der Leitspindel

Mit dieser Einstellung schiebt man die Messuhr nun vorsichtig auf die rechte Seite der Leitspindel. Wieder sucht man das Maximum. Und siehe da- dieses Maximum ist um etwa  $120\mu m$  größer als das auf der linken Seite!



Abbildung 13: Messwert nehmen

Die Leitspindel ist rechts also höher als links! Woher kann das kommen? Keine Ahnung- aber wenn man das Maschinenbett einschabt und dessen Geometrie verändert (verändern muss!), ist es mit Sicherheit zu erwarten, dass das auch Einfluss auf die Parallelität zur Leitspindel hat!

#### Noch ein Wort zur Messmethode:

Ich habe die Schieflage der Leitspindel in Bezug zur Granitplatte gemessen. Das kann ich natürlich nur machen, weil ich vorher die Füße akribisch parallel zum Maschinenbett eingeschabt habe und die Maschine nun mit allen seinen Oberflächen (Flachführung, Oberseite der Trapezführungen) nicht mehr als 10µm (eigentlich eher 5µm, aber das traue ich mir hier nicht zu sagen, weil ich damit bereits an die Grenze meiner Messmittelfähigkeiten komme!) zur Messplatte abweicht! Trotzdem: meine Messung habe ich wiederholt- diesmal so, wie man es normalerweise machen würde: mit einer auf dem Bettschlitten angebrachten Messuhr, denn bezüglich der Leitspindel ist genau DAS die korrekte Bezugsfläche, gegen die man messen muss!

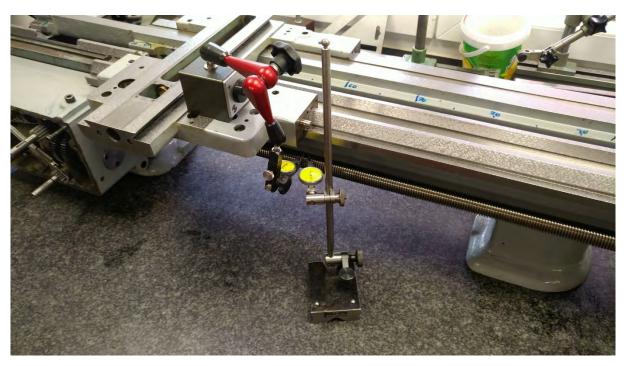


Abbildung 14: das ist eigentlich die korrekte Messmethode

Aber auch hier messe ich etwa 120µm Schieflage.

Dann kam mir die Idee, ob die Leitspindel nicht vielleicht unrund sein könnte. Also mache ich in 90°-Schritten kleine Markierungen auf die Leitspindel und wiederhole die Messung in jeder markierten Position. Das Ergebnis: ja, die Leitspindel ist möglicherweise nicht perfekt rund in der Lagerung, aber wir reden da von vielleicht 10 oder 20µm und das kann auch an anderen Faktoren liegen- z.B. korrekte Positionierung der Messuhr oder kleiner Grat auf dem Gewinde.

Aber um 20µm will ich mich hier nicht streiten. Für uns wichtig: die Leitspindel steigt gegenüber dem Maschinenbett um insgesamt 120µm an, da beißt die Maus keinen Faden ab.

## 8 Höhenkorrektur der Leitspindel

Wie aber korrigiere ich das?

Meine Idee ist es, die Passstifte, mit denen der rechte Lagerbock in seiner Position fixiert ist, an 180° seines Umfangs um gute 100µm abzuschleifen (Stichelschleifmaschine), damit man den Bock etwas höher oder tiefer montieren kann. Die Inbusschraube gestattet genug Spiel: denn wenn ich die Stifte herausziehe den Bock nur mit den Schrauben befestige und mit dem Plastikhammer leicht runterklopfe, komme ich locker auf die geforderten 0µm.



Abbildung 15: ohne Pass-Stifte kriege ich die Leitspindel "hingeklopft"

### 9 Telefonat mit Denis

Weil ich weiß, dass Zerspanungsbuden-Mitglied Denis (alias "Eisenwut") ebenfalls eine MLZ4S in großer Leidenschaft zerlegt und restauriert, frage ich ihn, wie er dieses Problem lösen würde. Wir telefonieren recht lang miteinander und ich lerne mal wieder sehr viel. Ihm gefällt an meiner Lösungsidee nicht, dass die Passstifte dann nicht mehr vollumfänglich Kontakt zur Bohrung haben, sondern auf der -dem Schliff gegenüberliegenden- Seite dann 100µm Luft haben werden. Daher schlägt der pfiffige Denis vor, stattdessen 1:50 Kegelstifte zu setzen, die vorher mit einer Hand-Kegelreibahle in der korrekten Geometrie gerieben werden.

Ich bin überzeugt von seinem Lösungsansatz und bestelle eine 6mm Kegelreibahle und ein paar 6mm und 80mm lange Kegelstifte (die brauch ich, weil die untere Bohrung im Lagerbock alleine 50mm tief ist).

Doch dann komme ich selbst auf eine andere Idee.

# 10 Jenseits meiner Vorstellungskraft!

Zur Vorbereitung des Schlosskastens für den Test mit der zuschnappenden Schlossmutter packe ich mir immer Tütchen, damit ich mit den ganzen Schrauben, Stiften und Federn nachher beim Zusammenbau nicht durcheinanderkomme.



Abbildung 16: nochmalige Kontrolle mit einem selbstgebauten Mess-Schlitten

Dabei fallen mir auch die originalen Pass-Stifte des rechten Lagerbocks in die Hände.

Moment mal...



Abbildung 17: alter und neuer Pass-Stift

So richtig "toll" sehen die ja nicht aus….vor allen Dingen scheint der Kopf irgendwie schief zu sein….

Ein neuer hingegen.....

Sollte hier etwa jemand....!!!!

Ich schlage zwei neue Passstifte aus meiner Magazinwand (ja, Denis, genau DIE Magazinwand (3) in den Lagerbock. Ich setze ihn an und schraube fest. Messuhr heraus, an der linken Seite genullt. Dann rübergeschoben nach rechts an den neu verstifteten Lagerbock, kurz tief eingeatmet, Luft angehalten, gemessen....



Abbildung 18: Überprüfung mit neuen Pass-Stiften

# Weniger als 15µm!

Das darf doch nicht wahr sein!

Da hat doch irgendso ein Hirni es während der damaligen Restauration geschafft, einen soliden 6mm Passstift so krumm zu hauen, dass die ganze Leitspindel am Ende um mehr als ein Zehntel mm schief sitzt!

Wie man sowas hinkriegt, liegt außerhalb meiner Vorstellungskraft. Ob das Absicht war oder einfach nur brutale Gewalt während des Zusammenbaus- ich weiß es nicht. Nur bei einem bin ich mir sicher: von Leinen original ist dies sicher nicht!!!!

Ein weiteres mal wurde mein Grundmisstrauen bestätigt. Ich muss an allem, was irgendwie mit Geometrie zu tun hat, an dieser Maschine hinterfragen. Aber ein Gutes hat das: so viel, wie ich hier an dieser MLZ4S lerne, hätte ich an keiner anderen Maschine lernen können!

### **11 JSS**

"JSS" steht für <u>Jan-S</u>verre <u>S</u>ledge. Wir konnten ihn bereits in Abbildung 16 sehen. Es handelt sich dabei um einen universell einsetzbaren Schlitten mit Dreipunktlagerung, den man statt des Bettschlittens auf sein Drehmaschinenbett legen und damit Teile seiner Geometrie abfahren und ausmessen kann. Zum ersten mal gesehen habe ich diese Konstruktion bei Jan Sverre in einem seiner Myford-Videos, und ich war sofort begeistert. Also habe ich ihn nachgebaut.



Abbildung 19: der JSS-mit verstellbarer Dreipunktlagerung und Winkelkorrekturmöglichkeit!

Zwei Grauguss-Stangen, 5 Schrauben mit M8 Feingewinde und ein paar Kugeln aus einem alten Kugellager- viel mehr braucht man nicht. Die Kugeln habe ich in eine Kuhle geklebt, die ich am Ende der Schrauben ein wenig ausgebohrt habe. So habe ich eine verstellbare(!) Dreipunktlagerung unter dem Schlitten und einen ebenfalls justierbaren Anschlag, der sich an der hinteren Führungsfläche (bei mir Fläche B) abstützt.

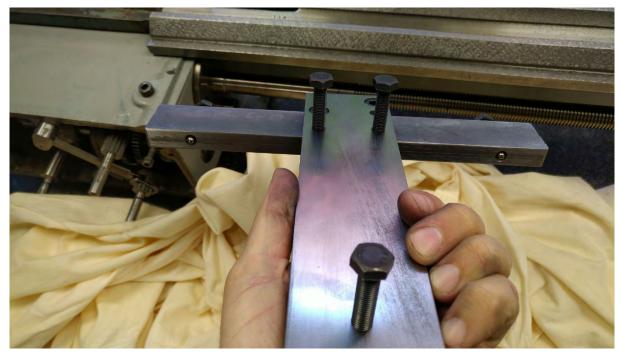


Abbildung 20: Ansicht von oben

Mit JSS kann man wirklich super arbeiten. Bei meiner Version könnte die große Graugruss-Stange gerne noch etwas breiter sein, denn er neigt wegen der Länge (400mm!) beim Verschieben etwas zum Umkippen. Vielleicht kürze ich JSS daher noch einmal, aber erstmal ist er fertig und kann so problemlos verwendet werden. Geschabt habe ich keine der Flächen, sondern nur am Bandschleifer grob entrostet und die Kanten gebrochen.



Abbildung 21: Die Verbindungsstelle- mit Pass-Stiften und zwei Inbus-Schrauben. Darunter die beiden Verstellschrauben für die Dreipunkt-Auflage

Ich habe mir allerdings eine Übungsstunde im Pass-Stift setzen gegönnt. Die Verbindung zwischen den beiden Grauguss-Leisten habe ich nämlich geschraubt und gestiftet. Ich wollte einfach mal sehen, wie das geht. Mein Fazit: prima! Mit 4,7mm gebohrt, einer chinesischen Billig 5H7 Maschinenreibahle gerieben und dann den 5mm Passstift an der einen Leiste mit Loctite 648 eingeklebt. Ob das fachgerecht ist- keine Ahnung, das wisst ihr sicher besser. Ich lerne halt immernoch und versuche, mir das meiste selbst beizubringen. Da mache ich bestimmt viele Fehler- aber oft funktioniert auch was. JSS gehört definitiv dazu!



Abbildung 22: M8 Feingewindeschrauben mit aufgeklebter Kugel aus einem alten Kugellager

### 12 Schlossmutter

Nun kommt der Schlossmuttertest. Also zwei Hölzer auf die Granitplatte gelegt, so dass ich den Schlosskasten erst auf die Leitspindel auffädeln und in der richtigen Höhe auf die Hölzer absetzen kann (ohne die Leitspindel zu verbiegen). Dann stelle ich den Bettschlitten auf Maschine und schiebe ihn direkt über den ruhenden Schlusskasten. Zwei Inbusschrauben ziehen den Schlosskasten von unten sauber gegen die Unterseite des Bettschlittens. Eine Schraubzwinge an der Rückseite verhindert, dass das ganze Teil mir entgegenkippt. (Übergewicht durch untergeschraubten Schlosskasten).

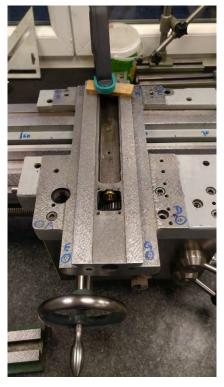


Abbildung 23: von vorne den Schlosskasten untergeschraubt und von hinten den Sattel mit einer Schraubzwinge fest ins Bett geklemmt, damit er beim Messen nicht nach vorn überkippt

Nun wird es spannend. Ich rutsche den Bettschlitten vorsichtig in eine Position, in der ich die Schlossmutter leicht und vollständig schließen kann. Die Mutter greift also die Leitspindel und hält sie fest. In welcher Höhe genau sie das tut, will ich nun wissen!

Also wieder Messuhr auf die Platte, links neben dem Schlosskasten genullt, dann rechts neben der geschlossenen Mutter gemessen. Und? Mist. Sie hängt um 280µm! Bedeutet: die Ruhelage der Schlossmutter ist nun 280µm tiefer als sie sein sollte.

#### Woher kommt das?

Nun- mein bisheriges Schaben am Maschinenbett hat niemals so viel Material abgenommen. Ich muss also mit wachsender Sicherheit annehmen, dass die Maschine wirklich schon einmal überarbeitet wurde- und man auch am Bett was geschliffen hat. Denn nur wenn das Bett niedriger geworden ist (oder der Sattel von unten geschabt wurde), kommt die ganze Einheit näher nach unten und drückt damit auch die Leitspindel nach unten.

### 13 Was machen?

So lassen kann ich es nicht. Dazu ist es einfach zu viel Abweichung. Selbst wenn ich die Leitspindel mit angeschraubtem rechten Lagerbock fixiere und die Schlossmutter schließe, sieht man mit dem bloßen Auge, dass sie nach unten durchgebogen wird. Das ist Mist und kann so nicht bleiben. Ich muss den Schlosskasten also "nach oben" kriegen. Das geht nur auf einem Weg:

die Verbindungsstelle zwischen Schlosskasten und Sattel dünner schaben!



Abbildung 24: damit die Leitspindel der Oberfläche des Sattels näherkommt, muss ich hier massiv Material herunterschaben

Doch bevor ich das exzessiv mache, will ich erst wissen, ob der Sattel auch korrekt parallel auf dem Maschinenbett liegt. Denn erst wenn er das sauber tut, macht es Sinn, ihn auch an anderen Oberflächen zu schaben. Immer erstmal eins nach dem anderen.



Abbildung 25: Prüfen, ob der Sattel auch parallel zum Bett steht

Und das tut er natürlich nicht. Er liegt zwar mit all seinen Flächen von links nach rechts sauber auf einer Ebene, allerdings kippen alle vier Flächen nach hinten um etwa 40µm ab.

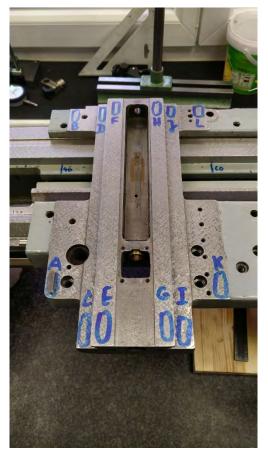


Abbildung 26: Messpunkte der für mich relevanten Flächen am Sattel

Nun könnte man überlegen, ob man den gesamten Sattel zurück-kippt oder nur seine oberen Führungsbahnen parallel zur Granitplatte schabt. Und welchen Indikator nutzen wir, um die korrekte Entscheidung zu fällen? Genau- die Lage der Spindel, denn deren Lage ist nur nämlich nur schwer zu beeinflussen und wird später die Bewegungsrichtung der Spindelmutter vorgeben, daher richten wir uns nach ihr!



Abbildung 27: alle Flächen kippen um bis zu ca. 50µm ab!

Für den Check wollen wir mal mit der Messuhr längs über die Spindel fahren. Ich montiere dafür eine leicht ballige Tastfläche am Taster, damit der Messstempel nicht in den Gewinderillen der Spindel hängen bleibt, sondern über die herübergleitet.

Und ich stelle fest: die Spindel steigt nach hinten hin an! Während der Sattel also fällt, steigt die Spindel! Was für eine Überraschung! Man gut, dass wir nicht einfach stumpf und hirnlos an den unteren Gleitflächen des Sattels geschabt haben, denn das hätte die Spindelachse noch weiter schief gekippt!



Abbildung 28: laut Messuhr steigt die Spindel nach hinten hin knapp 100µm an! Doch stimmt die Messung? Nein!!

Und über wieviel µm reden wir? Das kann ich noch nicht sagen. Warum? Weil es so zu sein scheint, dass die Spindel hinten am Ende in ihrer Führungsbuchse anschlägt und sich nicht in die Lage bringen kann, die sich eigentlich freiwillig einnehmen würde, wenn hinten keiner "festhalten" würde. Von Dennis' MLZ4S weiß ich, dass bei ihm die Spindel am Ende nicht geführt, sondern sogar komplett frei liegt! Und das macht meiner Meinung auch Sinn, denn ansonsten hätten wir eine Überbestimmung eines mechanischen Systems, bestehend aus Spindel, Spindelmutter, vorderer und hinterer Lagerung.

Auch wenn ich in der Mechanikvorlesung bei Prof. Brommund in der Abschlussklausur damals gerade so eine 4.0 geschafft habe, also weit entfernt davon bin, vor mechanischer Kompetenz zu strotzen, so bin ich überzeugt, dass ich diese Überbestimmung des Systems auflösen muss und nur so die natürliche Lage der Spindel bestimmten kann. Heißt?

#### Wir bohren ein Loch! :-)

Nunja- wenn man es korrekt machen würde, spannte man den Sattel wahrscheinlich auf einen Frästisch auf, misst seine Mitte aus und spindelt die Bohrung mit einem Ausdrehkopf sauber aus. Klar. Kann man alles machen, wenn man eine funktionierende Fräse besitzt.

In der realen Welt stelle ich meinen chinesischen Aufspannwinkel auf den Tisch meiner Standbohrmaschine, fixiere ihn mit Schraubzwingen und klemme den zu bohrenden Sattel darauf. Mit einem Kegelsenker suche ich die ungefähre Mitte und klemme dann den Aufbau fest. Das Loch der Spindel bestimme ich mit der Mikrometerschraube auf 9,2mm. Also schaffe ich ihm etwas Freiraum und bohre mit einem 9,5mm das Loch auf. Einfach so. Zum Entsetzen aller gestandenen Metaller: ja, ich hätte das notfalls auch auf die "Rock'N'Roll-Art" freihand mit dem Akkuschrauber gemacht, da bin ich nicht zimperlich!



Abbildung 29: das hintere Loch im Sattel wird aufgebohrt

Ich wiederhole die Messung. Zum meiner Freude ist die Spindel in der hinteren Bohrung nun frei. Ich kann sie mit dem Finger in alle Richtungen leicht drücken und überall gibt sie noch ein wenig nach- ein Zeichen dafür, dass das Ende auch wirklich "frei" ist und nicht irgendwo anliegt. Nun kann ich also endlich sicher sein, dass der Messwert nun die korrekte, natürliche Ruhelage der Spindel repräsentiert und nicht eine -durch die hintere Führung verursachte-Zwangslage.

Nun muss ich Rollie's Dad's Method (RDM) anwenden, denn natürlich eiert die Spindel zum Ende hin etwas. Möglicherweise eine Folge der früheren Konfiguration mit der mehrfachen Überbestimmung des Systems in Verbindung mit den nicht synchron verlaufenden Achsen von Schlittenführung und Spindel: dadurch wurde sie möglicherweise schon etwas verbogen!

Okay, das ist aber nicht weiter tragisch, denn die Führungen des Querschlittens werden die Spindel dann schon in die korrekte Lage zwingen. Am Anfang der Spindel zappelt die Messuhr zwischen -10 und +10 $\mu$ m um die Nulllage herum. Am Ende der Spindel (am freien Ende) sind es dann etwa +180 $\mu$ m und -120 $\mu$ m. Nach Rollie's Dad's Method und unter Berücksichtigung, dass die Spindel am Ende etwa 29 $\mu$ m dicker ist als vorne, errechnet man damit +16 $\mu$ m Achsenabweichung nach oben.

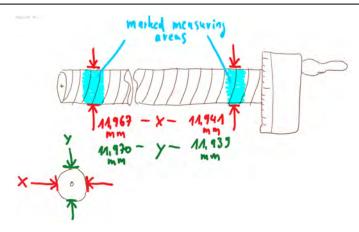


Abbildung 30: ich messe die Dicke der Spindel vorne und hinten und berücksichtige das bei der Berechnung der Höhenlage

Zusammen mit den etwa -40µm, die die Führungsbahnen sich zum Ende des Sattels hin unter der Spindelmutter absenken, laufen im aktuellen Zustand der Querschlitten und die Spindel gegen Ende also bis etwa 55µm auseinander!

Sattel Leinen MLZ4S

55µm ist vielleicht nicht so schlimm, aber es geht besser!

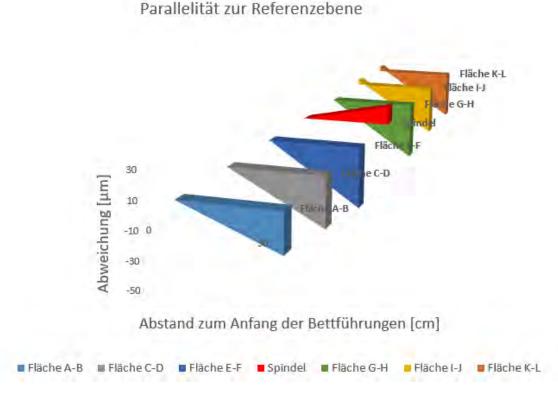


Abbildung 31: alle Flächen kippen nach hinten hin ab- nur die Spindel (rot) steigt leicht (+16µm) an

Das Gute ist nämlich: wenn ich die Führungsflächen neu schabe und <u>dort</u> die -40 $\mu$ m ausgleiche (also "kippe"), dann hilft das auch der 55 $\mu$ m Nicht-Parallelität zwischen Spindel und Querschlitten! Theoretisch bleiben dann nach erfolgtem Einschaben nur noch die +16 $\mu$ m der Spindel übrig- und das wäre doch prima! Immerhin müssen wir bedenken, dass es vorher viel schlimmer war und die Maschine trotzdem funktioniert hat!

### 14 Alles nur theoretisch!

Tja und dann holt es mich auch da wieder ein.

Ich muss dazu sagen: ich besitze ein HP3458A Multimeter. Die meisten meiner Leser sind ja wahrscheinlich Mechaniker. Also googelt das HP3458 mal und ihr werdet erkennen, dass es mit 8 Stellen nach dem Komma eines der genauesten elektrischen Messgeräte der Welt ist. Es ist so genau und hochauflösend, dass ich damit sogar meine eigenen Spannungs/Strom/Widerstands-Kalibratoren kalibrieren kann. Sogar die PTB in Braunschweig (die mit der Atomuhr) setzen es ein und sowieso jedes Kalibrierinstitut, das irgendwas auf sich hält.



Abbildung 32: das elektrische Äquivalent zum "Nanometer" und DIN876/0000 ;-)

Ich kann also stolz von mir behaupten, dass ich grundsätzlich mit dem Thema "Messen" einigermaßen vertraut bin und auch Erfahrungen mit Messungen im physikalischen Grenzbereich habe: man kann niemandem vertrauen und nichts als "gegeben" akzeptieren. Man muss AL-LES hinterfragen und mehrmals verifizieren. Sogar die Erwärmung der Buchsen durch die Hand, in die man das Messkabel (natürlich aus Beryllium-Kupfer!) einsteckt. Achja- das Thema mit der "Handerwärmung" haben wir bei Messschrauben ja auch ;-)

Und damit schmeiße ich all die schönen Messungen und Grafiken des letzten Kapitels über den Haufen!

Hauptproblem: Reproduzierbarkeit meiner Messwerte in verschiedenen Situationen!

Beispielsweise muss ich den Sattel hinten mit einer Schraubzwinge an dem Maschinenbett fixieren, damit es beim Anschrauben des Schlosskastens kein Übergewicht bekommt und nach vorne aus dem Bett kippt. Das alleine verschafft mir schon Schwankungen in den Messungen von bis zu 50µm!

Nächstes Problem: Mess-Stativ! Sobald ich es von vorne auf der Messplatte nach hinten umstellen muss (=anheben), besteht die große Gefahr des Verstellens und schon sind die Messwerte wieder alle für die Katz. Sobald ich es zu hektisch absetze (gar nicht so leicht von vorne hinter die Maschine zu fassen), verstellt es sich ebenfalls- nur um wenige  $\mu$ m, aber das reicht ja schon!

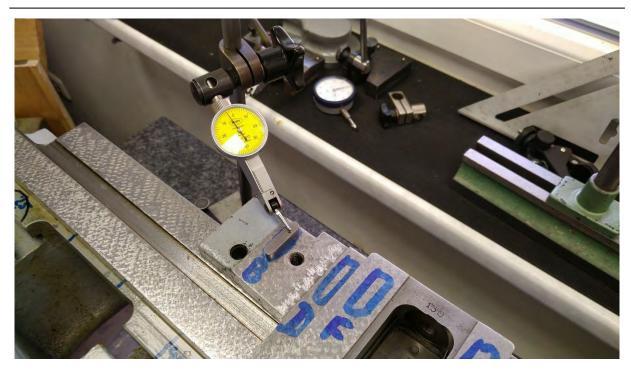


Abbildung 33: Messung des Sattels- diesmal ohne Belastung

Ergo: ich muss akzeptieren, dass ich es nie schaffen werde, die Oberfläche des Sattels in jeder Belastungssituation

(z.B.

- a) Sattel liegt lose im Bett;
- b) Sattel mit Schraubzwinge und Schlosskasten,
- c) Sattel im späteren Zustand mit Schlosskasten und Gleitstück,
- d) alles zusammengebaut und mit Belastungsdruck durch den Drehmeißel, usw...!!!)

innerhalb z.B. 10µm Toleranz parallel zum Granittisch zu halten.

Dazu ist das System einfach zu "labil"- sowohl das Messsystem als auch der Aufbau "Sattel/Schlosskasten/Spindelmutter, etc.) auf der Maschine! Es ändert sich einfach zu viel, um eine so enge Toleranz immer einhalten zu können. Und außerdem: die absolute Parallelität zwischen Satteloberfläche und Standfüßen ist vielleicht zwar ästhetisch reizvoll- aber für die Präzision völlig wurscht!!! Wir brauchen hier rein physikalisch keinen parallelen Bezug! Der einzig wichtige in dieser Situation ist die Parallelität von Spindelmutter zur Flachführung des Querschlittens.

### 15 Realistisch bleiben!

Was also mache ich? Ich besinne mich auf das wesentliche. Und das ist der Gleichlauf der Flachführungen des Sattels mit seiner Spindel zum Antrieb des Querschlittens. Daher ändere ich den Messaufbau ab. Mittels zwei Präzisionsunterlagen greife ich mir die beiden Flachbahnen als Referenz ab und lege meinen Messbalken mit Mitutoyo-Messuhr darüber. Die Messuhr ist auf die Spindel ausgerichtet.



Abbildung 34: neues Messprinzip

Ich messe wieder vorne und hinten. Beim Umstellen des Messbalkens achte ich penibel darauf, ihn wirklich nur am Grundkörper anzufassen und hochzuheben (keinesfalls am Stiel hochheben!!) und ihn auch ganz sanft wieder abzusetzen. Stößt man versehentlich irgendwo an => verloren! Neu messen!

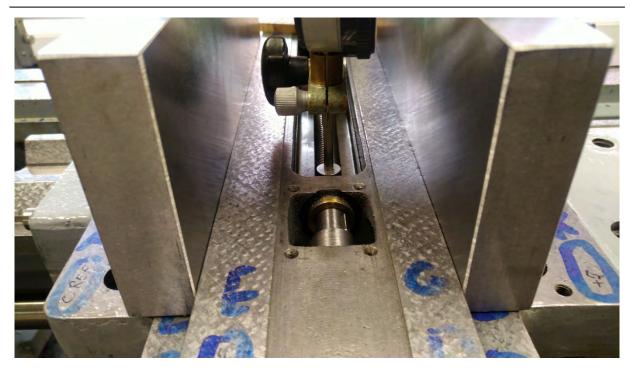


Abbildung 35: Die Precision Parallels transferieren mit die Referenz nach oben; von dort aus messe ich zur Spindel herunter

Die RDM-Messung ergibt: +40µm hoch. Ein bekannter Wert.

# 16 Stufenschaben

Nach reiflicher Überlegung kippe ich die beiden Flach-Führungsbahnen. 5 Segmente, 4 Durchgänge. 1 Durchgang ergibt bei mir immer so grob  $10\mu m$ , somit dürfte ich damit einigermaßen ins Ziel treffen.



Abbildung 36: Flachführung neigen, damit sie parallel zur Spindel werden



Abbildung 37: "ich glaube, so lass ich's". Dachte ich erst. Werde es später aber trotzdem noch verbessern müssen!

### 17 Traumwert: 120 zu 80!

Mit diesen Werten für systolischen und diastolischen Blutdruck ist normalerweise jeder Hausarzt hochzufrieden. Und meine Messuhr zeigt nun exakt dasselbe an. Mit Berücksichtigung des leicht unterschiedlichen Durchmessers der Spindel (Abnutzung) ergibt sich damit rechnerisch ein Offset von nur noch +5,75µm!

Nicht mehr fummeln! Das kann jetzt nur noch schlechter werden!!

Sehr schön ist auch, dass die Ebene der beiden Führungsflächen nun tatsächlich auch auf  $<20\mu m$  parallel zur Granitplatte ist- zumindest im unbelasteten Zustand (Sattel liegt nackt auf dem Bett auf, nichts angeschraubt, nicht belastet, keine Schraubzwinge). Der Schritt bzw. die Entscheidung hat zwar lange gedauert, war aber wohlüberlegt und hat daher auch wie erwartet ins Ziel getroffen!

Und so sollte man es auch machen: niemals in Hast und Hektik schaben, nur weil man "vorankommen" will. Weiß man nicht ganz genau, was man tut, kann das schnell zum Fallrückzieher werden.



Abbildung 38: endlich ist die Spindel des Planzugs parallel zur Gleitbahn!

### 18 Einebnen und die Sekundärflächen

Die Geometrie der beiden Flachführungen stimmt also nun. Sie sind parallel zur Spindelachse und die Oberfläche selbst sogar innerhalb 20µm parallel zum gesamten Maschinenbett (was sie gar nicht müssten).

Nun geht es darum, die Kontaktpunkte auf den Flachführungen zu erhöhen. Das habe ich schon etliche male in Reparaturberichten gezeigt (bzw. "versucht" ;-) und spare mir das daher.



Abbildung 39: Verteilung der Tragpunkte ist schon besser, aber es sind mir noch zu viele Highspots drin

Interessant ist jedoch die Frage: was ist mit den Flächen für die mitlaufende Lünette? Jetzt, wo die Flachführung ja "gerade" ist, würde es die Ästhetik verlangen, die auch in dieselbe Ebene zu kippen. In einem Anfall von Wahnsinn mache ich also auch das. Vier Schabedurchgänge und die Geometrie sitzt. Ich werde aber nachlässiger: alles kleiner als 20µm ist für mich nun in Ordnung- jedenfalls bei rein ästhetischen Flächen, die die Genauigkeit nicht beeinflussen. Sonst werde ich nämlich nie fertig!

Also wieder Step Scrapen, Schruppen, Semi-Finish, Finish, zwischendrin Dive-Bomb. So verbringt man einen kompletten Nachmittag, an dem der Arbeitgeber Corona-bedingte Kurzarbeit angeordnet hat, in der Werkstatt. Zusammen mit einigen Tabletten Aspirin, denn leider bin auch ich seit einiger Zeit dankbares Opfer für Migräne und Kopfschmerzen....nunja, kann sich halt niemand aussuchen...:-/

### 19 Schwalbenschwanz

Es geht weiter- wir kümmern uns um den Schwalbenschwanz (SSW). Mit den ebenen und parallelen Flachführungen können wir nun mit 8mm Rundröllchen und einem Tellermikrometer den Zustand der Schwalbenschwanz-Flanken über die Länge messen. Auch wenn ich es geschafft habe, beim Tellermikrometer während des Reinigens irgendwie den Ratschenmechanismus zu killen, so kann man mit ihm mit etwas Gefühl und Erfahrung auch ohne ihn reproduzierbare und verlässliche Messwerte ablesen. Es zeigt sich, dass sich der SSW über die Länge mehr als 100µm aufweitet. Sprich: der Verschleiß hat ihn ungleichmäßig abgenutzt und das müssen wir nun ausgleichen.

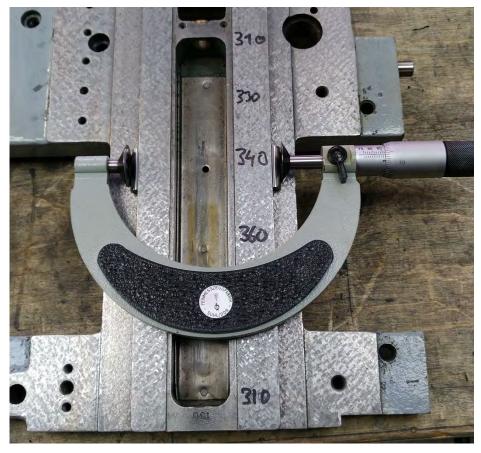


Abbildung 40: Messung des SSWs mit Röllchen und Tellermikrometer

Das Schaben von SSWen ist immer etwas anspruchsvoller, weil man zum einen mit dem Schaber hier nicht so gut reinkommt und zweitens das Einspannen des Werkstücks in der der richtigen Lage nicht immer ganz so einfach ist. Ich behelfe mir mit einem chinesischen Aufspann- oder auch "Fräswinkel" genannt, einer Schraubzwinge und einem Handschaber. Damit gelingt das ganz gut, aber an das Erstellen von individuellen und sauberen Checkerboad-Mustern innerhalb dieses winzigen SSW-Streifens ist hier nicht zu denken. Wir sind schon froh, wenn wir die Hi-Spots erkennen und gezielt per Dive-Bomb ausschalten können, aber Gitterstruktur und per Schablone ausgemessene 20ppi können wir hier vergessen. Wir würden die Schablone noch nicht einmal zum Messen in den SSW einlegen können.

Wir müssen also mit gesundem Menschenverstand und nach optischem Eindruck des Tuschierbildes urteilen. Das gelingt aber eigentlich ganz gut. In Verbindung mit Step-Scraping kriegen wir auch den SSW auf unter 20µm Breitenabweichung entlang seiner Länge.

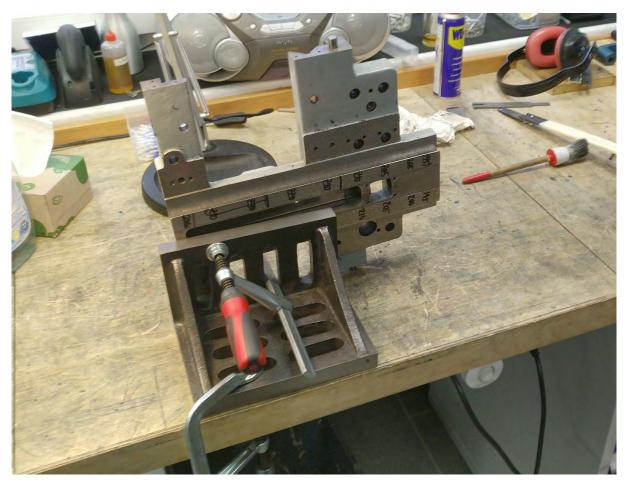


Abbildung 41: Setup zum Schaben des Schwalbenschwanzes

Zwischendrin wollte ich noch die Rechtwinkligkeit zum Maschinenbett überprüfen. Denn wenn man die Möglichkeit hat, einen SSW zu schaben, hätte ich "nebenbei" ja gleich auch eine mögliche Unwinkligkeit zum Maschinenbett korrigieren können. Also einen meiner guten 400mm UDSSR-Messwinkel herausgeholt und per Doppelklemme auf das Maschinenbett gespannt. An seine rechtwinklige Seite einen geschabten Messbalken gelegt und daran dann die Messuhr mit gezogenen Stiften gleiten lassen. Die Tastspitze des Puppitast etwa mittig in den SSW gerichtet und dann die Fläche abgefahren. Das sowohl auf der rechten als auch auf der linken SSW-Flanke.



Abbildung 42: kompliziertes Set-Up mit Winkel, Messbalken und Surface Gauge

Das Ergebnis bestätigt die Messungen mit der Mikrometerschraube: der SSW wird in Richtung Benutzer hin leicht breiter. Er tut dies nach den Messwerten des Puppitast zufolge allerdings auf beiden Seiten sehr gleichmäßig; d.h. es gibt hier keine von mir erkennbare Abweichung zum rechten Winkel. Also schabe ich auf beiden Seiten des SSW den gleichen Betrag ab, um genau diesen Winkel möglichst zu erhalten.



Abbildung 43: Prüfung des SSWs auf Rechtwinkligkeit- etwas abenteuerlich, aber es funktionierte

## 20 Peng und krumm!

Und dann passiert es natürlich: beim Tuschieren des SSW probiere ich natürlich immer brav, die Drehpunkte zu finden. Also wackele ich am Tuschierlineal leicht hin und her. Dabei bewege ich es einmal zu weit- es rutscht aus dem SSW heraus, gleitet mir aus der Hand, ich kriege es nicht mehr zu fassen, mit dem Knie versuche ich noch, den unausweichlichen Fall des Präzisionslineals zu bremsen- PENG!

Das mühevoll eingeschabte Lineal schlägt mit der Ecke voran auf dem Fußboden ein.

Was für ein Mist!

Nun habe ich wenigstens in einem Punkt Glück: der frisch neu im letzten Jahr geflieste Werkstattboden hat von uns ein paar Schutzmatten bekommen. Ich rede von diesen Unterlagen für Bürostühle, damit man mit denen auch auf dem Teppich rollen kann. Nicht ganz billig die Teile, aber zum Schutz vor Öltropfen und herunterfallenden Werkzeugen haben wir ein paar davon in der Werkstatt verteilt. Zwei vor der Werkbank, eine vor der Drehmaschine, eine vor der Kreissäge, eine vor der Bandsäge. Und glücklicherweise ist es auf genau einer dieser Matten eingeschlagen. Diese hat den Einschlag mit einem richtigen Einschlagkrater quittiert, aber ihn damit erheblich gedämpft und mir sowohl Tuschierlineal als auch Fliesenboden gerettet!

Trotzdem: das Lineal muss überprüft und ggfs. nachgeschabt werden, so kann ich es nach diesem Sturz nicht mehr verwenden!

Es kostet mich eine gute Stunde auf der Messplatte und mit dem Biax, um alles wieder zu richten. Der Abend ist damit leider gelaufen und die Arbeit kann ich erst später fortsetzen und den SSW zu Ende schaben.



Abbildung 44: wenigstens ist der SSW nun innerhalb etwa 5µm gleich breit geschabt!

### 21 Altlasten: hintere Gleitleiste

Nachdem die Oberseite des Supports endlich fertig ist, kümmere ich mich wieder um die Gleitstücke. Die Arbeit daran hatte ich unterbrochen, weil ich befürchtete, dass meine Geometriekorrektur auch Einfluss auf den Sitz der Gleitstücke haben würde, daher habe ich mit dem Anpassen noch gewartet.



**Abbildung 45: hintere Gleitleiste** 

Das war eine kluge Entscheidung. Vorher hat das Gleitstück noch geklemmt, jetzt hat es sogar noch ca.  $100\mu m$  Spiel! Gemessen habe ich das mit angelegter Messuhr und angeschraubtem Gleitstück, während ich den Support mit der Hand aus seiner Führungen zu heben versuchte. Mein Zielwert ist dabei etwa  $10\mu m$ , aber ich glaube, so kritisch ist es an dieser Stelle eigentlich gar nicht.

Die 100µm Spiel bedeuten also, dass das Gleitstück etwas näher an den Support wandern muss. Also die Auflage dünner machen. Das möchte ich diesmal schleifen und nicht schaben, denn das dürfte etwas schneller gehen und wenn ich es richtig verstanden habe, ist hier ein auf 20ppi eingeschabter Kraftschluss auch nicht notwendig.



Abbildung 46: wenn ich den Sattel mit der Hand hochzuheben, begrenzt das hintere Gleitstück den Weg erst nach 60µm. Zielwert sind etwa 10µm!

Eigentlich ist das Gleitstück für meine kleine LIP515 Flachschleifmaschine viel zu lang. Also feile einen ca. 2cm breiten Querstreifen in die Mitte, so dass aus dem einen langen stattdessen zwei kürzere, getrennte Segmente entstehen. Wie ich aus anderen Reparaturvideos weiß, ist das manchmal sogar vorteilhaft, weil man Kippeln dadurch besser verhindern kann. Und es schafft mir die notwendige Auslaufzone für den Schleifstein der LIP515, so dass ich das Gleitstück in zwei Zonen (links und rechts) separat und jedes für sich herunterschleifen kann. Natürlich muss ich das Werkstück dafür immer von der Magnetspannplatte abnehmen und umdrehen und das wird vermutlich auch nicht so genau wie "in einem durch" schleifen, aber hier habe ich durch meine relativ kleinen Maschinen eben meine Limits.



Abbildung 47: erstes Schleifergebnis mit in der Mitte hineingefeilter Unterbrechung

Ich feile los und erstelle so meine zwei Segmente. Das erste Drüberschleifen mit der LIP515 gelingt mir schon ziemlich gut.

Ich stelle fest, dass das Gleitstück von meinem ersten Einschaben an eine vorher schiefe Sattelgeometrie natürlich ebenfalls leicht schief wurde. Das ist für meine kleine LIP aber nun kein Problem. Mit wachsender Begeisterung schleife ich das Gleitstück erstmal glatt, dann rechteckig und schließlich noch den benötigten Absatz hinein. Ich lerne eine Menge während dieser Arbeit, denn auch an der Schleifmaschine bin ich natürlich noch Anfänger. Beispielsweise lerne ich, dass eine Magnetspannplatte selbst ein 1cm dickes Stahlstück schief ziehen kann, wenn es hohl auf dem Magneten liegt. Also schabe ich erst die Rückseite plan, damit es satt und weitestgehend verwindungsfrei auf der Magnetspannplatte liegen kann, während ich es flachschleife.

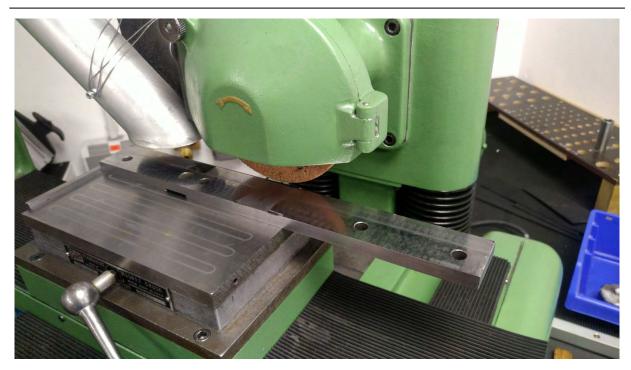


Abbildung 48: Flachschleifen in zwei Etappen

#### Um es abzukürzen:

das Gleitstück wird sich durch das Schleifen wieder krümmen, weshalb ich die begradigte Rückseite erneut schaben muss. Dann schleife ich iterativ immer nur noch  $10\mu$ m-Scheibchen herunter und mache mit der Messuhr eine Anprobe. Lennart sagt, dass ein Optimum erreicht sei, wenn der Sattel beim Hochheben und Niederdrücken noch um etwa  $10\mu$ m Spiel hat; also "wackelt". Das erreiche ich auch ganz gut; links sind es am Ende kappe  $5\mu$ m und rechts etwa  $10\mu$ m. So lasse ich es!



Abbildung 49: Endergebnis: links weniger 5µm; rechts etwa 10µm

## 22 Vordere Gleitstücke

Nachdem das Einschleifen mittels LIP515 und Messuhr hinten so gut geklappt hat, mache ich es für vorne genauso. Weil die Gleitstücke hier kleiner sind, geht es auch bedeutend schneller. Auch hier gelingt mir die Einstellung eines Spiels von ca. 10µm auf beiden Seiten.



Abbildung 50: vordere Gleitstücke

## 23 Leitspindel

Endlich scheine ich Fortschritte zu machen. Als nunmehr letzte Fläche am Sattel ist noch der Anschluss an die Leitspindel zu schaben, den ich ja bereits in Kapitel 12 schon einmal begonnen hatte. Aktuell ermittele ich, dass die Schlossmutter beim Schließen die Leitspindel um etwa 40µm nach unten drückt; d.h. sie muss noch 40µm höher. Also 40µm Material an der Unterseite des Sattels abschaben, damit der Schlosskasten um genau diese 40µm höher kommt.



Abbildung 51: vorher: Überprüfung der Sattelunterseite in Bezug zur Flachführung

Vorher untersuche ich noch die Parallelität der Fläche und stelle fest, dass die Fläche um 60µm schief zu den Führungsbahnen steht! Jetzt wollen wir es auch "richtig" machen, also wird auch diese Fläche noch in die korrekte Geometrie gebracht. Dem Sitz der Schlossmutter wird es gut tun, denn auch durch das Kippen dürfte sich ihre Lage zur Spindel verbessern. Und dann die Punktlandung: nach dem Kippen der Fläche in die korrekte Lage und ein paar nachfolgenden Ebenheits-Schabungen baue ich alles zusammen und stelle die Messuhr an die Leitspindel. Ich schließe die Schlossmutter und es ändert sich –nichts!



Abbildung 52: nachher: das Kippen der Fläche war erfolgreich!

Wie jetzt? Stößt die Messuhr irgendwo an, klemmt irgendwo was, ist irgendwo was blockiert?



Abbildung 53: unglaublich: 0µm trotz geschlossener Schlossmutter!

Nein, ich habe einfach so phänomenal gut getroffen! Das Kippen der Fläche war genau richtig und mit dieser Maßnahme steht die Schlossmutter jetzt endlich so, wie sie soll: nämlich spannungsfrei in einer Ebene mit der Leitspindel!

# 24 Begeisterung

Ich überprüfe meine Messung noch mehrmals um ganz sicherzugehen, aber es bleibt dabei: mit dem Einschaben auf korrekte Leitspindelhöhe ist eine der letzten großen Schabebaustellen geschlossen worden und ich kann nun wirklich ernsthaft an den Zusammenbau denken!



Abbildung 54: kaum zu glauben, aber die Leitspindel scheint in der Höhenlage absolut perfekt abgestimmt zu sein.....wirklich\*???

Glücklicherweise hat das Absenken von Sattel und Schlosskasten auf die in ihm laufenden Zahnräder (-> Antrieb Oberschlitten sowie Kontakt zur unten liegenden Zahnstange für den Zugspindelantrieb) nur so geringen Einfluss gehabt, dass ich an den Umfängen der Zahnräder nichts korrigieren muss. Oder sagen wir es mal so: ich habe alles probehalber zusammengebaut und keine Klemmer oder klappernden Zahnräder feststellen können, die auf zu geringes oder zu großes Zahnflankenspiel schließen lassen. Ich habe KEINEN Tuschierabdruck gemacht- hier würde mir nämlich sowohl die Kenntnis fehlen, einen Zahnrad-Tuschierabdruck richtig zu interpretieren als auch mit dem dadurch erworbenen Wissen irgendeine Maßnahme beschließen zu können (Zähne ausfräsen oder neues Zahnrad anfertigen). Ich habe hier mal Glück gehabt und ich lasse alles so, wie es ist.

<sup>\*</sup> nein. Die " $0\mu m$ " stimmen schon. Aber was ich noch nicht weiß: die Leitspindel ist leicht bauchig und ich messe gerade zufällig an ihrem "Bauch nach oben"!

## 25 Zusammenbau

Es geht los! Nach dem Einschaben des Bettes und des Sattels gibt es keine Arbeit mehr, für die ich die Maschine weiterhin auf der Granitplatte stehen haben müsste. Alles, was jetzt noch kommt:

- Oberschlitten einschaben
- Spindelstock auf korrekte Geometrie einschaben
- Reitstock einschaben

kann problemlos an der montierten Maschine geschehen. Auch die dafür notwendigen Messungen (z.B. Drehachse) werden alle in Bezug zum Maschinenbett gemacht werden und nicht mehr in Bezug zur Messplatte. Daher wage ich es: ich baue die Maschine wieder ein Stück weit zusammen!



Abbildung 55: der Zusammenbau beginnt!

Zuerst setze ich das Bett auf meine Arbeitsplatte. Dann montiere ich Getriebekasten (=Multiplikator), Sattel und die Leit-, Zug- und Schaltwelle.

Damit das bei Euch nicht schief geht, hier mal meine Zusammenbaureihenfolge.

### 25.1 Multiplikator

Ihn anzubauen, fordert einige Vorarbeit, denn er wird mit Hylomar Dichtpaste eingeschmiert und schließlich an das Bett angeschraubt. Dafür müssen beide Dichtflächen vorher peinlichst gesäubert und entfettet werden. Beim Zusammenschrauben ist es etwas kniffelig, denn für einige Schrauben ist es so brutal eng, dass man sie kaum positioniert geschweige denn angeschraubt bekommt.





Abbildung 56: vorher (links) und nachher (rechts) gereinigte Fläche

Ist das irgendwann erledigt, habe ich mit einer Rasierklinge das herausquellende Hylomar abgeschabt und danach mit Spiritus abgewischt.





Abbildung 57: Dichtflächen mit Hylomar einschmieren

Zum Schluss habe ich meine Heißkleber Sicherungspunkte der drei Achsen herausgepult und schließlich (nach dem Anschluss der Leitspindel, siehe weiter unten) das Teil zugeschraubt.



Abbildung 58: meine Heißkleber-Sicherungen abziehen

### 25.2 Leitspindel

Sobald der Multiplikator sitzt, kommt die Leitspindel dran. Zuerst den Leitspindel-Faltenbalg aufstecken. Das geht nur noch rechts. Man muss die Welle also frei und einzeln in der Hand halten, sonst passt er nicht drauf.



Abbildung 59: Leitspindel und Faltenbalg



Abbildung 60: der Faltenbalg geht nur drauf, wenn man ihn von rechts auffädelt

### 25.3 Passstifte im Sattel

Zur Vorbereitung der Montage die beiden Passstifte in den Sattel hauen. Es sind welche mit 5mm Durchmesser und 32mm Länge.



Abbildung 61: Pass-Stifte in den Sattel einschlagen

### 25.4 Schlosskasten vorbereiten

Damit wir im nächsten Schritt den Schlosskasten unter den Sattel schrauben können, legen wir nun alle Wellen ein. Zuerst die unterste Schaltwelle. Wichtig: die wird zuerst auf den rechten Lagerbock aufgefädelt, damit seine Schaltnase auch in das dort befindliche Schaltelement greift.



Abbildung 62: Zug-, Leitspindel und Schaltwelle sind eingelegt

Dann schieben wir die Zugspindel ein, dann die Leitspindel. Wir legen sie etwa mittig in die Schlossmutter, dann schließen wir sie, damit die Welle für den Einbau fixiert ist und nicht herumwackelt.

### 25.5 Schlosskasten unter den Sattel schrauben

Das gelingt mit 5 Inbus-Schrauben vom Typ M8 x40 (Pfeile). Am besten hilft hier eine zweite Person, die den Schlosskasten anhebt, während die erste die Schrauben einfädelt und über Kreuz vorsichtig anzieht. Wenn alles richtig ist, greifen die Passstifte des Sattels direkt in die Löcher im Schlosskasten.

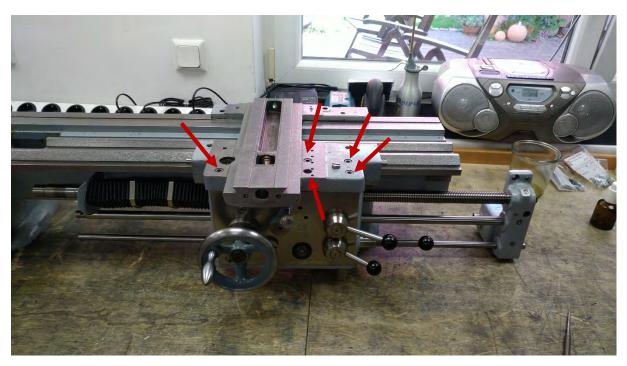


Abbildung 63: Schlosskasten unter den Sattel geschraubt

### 25.6 Leitspindel einschieben

Nun hängt alles schon am Sattel und kann mit dem Handrad hin- und hergekurbelt werden. Wir schieben die Leitspindel so mit Gefühl in die Öffnung des Multiplikatorgetriebes. Vorher sollte man die beiden kleinen Ankörner-Stellen suchen. Wenn sie sich an Zahnrad und Leitspindel genau gegenüber stehen, haben sie die richtige Position zueinander und die zwei 4mm und 26mm langen Kegelstifte kann man von vorne gut einhämmern. Sobald das erledigt ist, hat die Leitspindel einen Kraftschluss zum Multiplikatorgetriebe.



Abbildung 64: wir kurbeln die Leitspindel nach links in Richtung Multiplikator



Abbildung 65: hier kommt die Leitspindel hinein

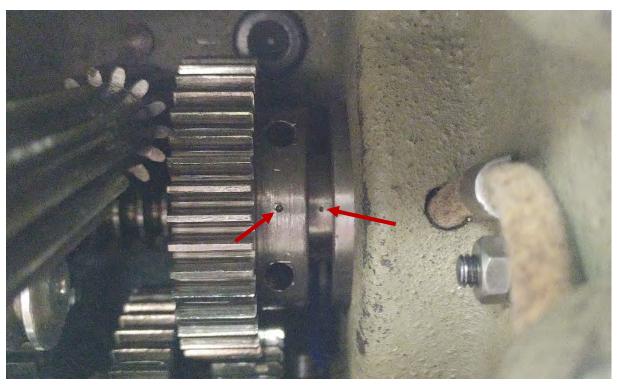


Abbildung 66: wenn sich die beiden Markierungen gegenüber stehen, passen nachher auch die Kegelstifte!



Abbildung 67: zwei neue Kegelstifte zur Verbindung Multiplikator-Leitspindel

## 25.7 Zugspindel

Nun schieben wir auch die Zugspindel ein. Auch sie wird mit einem Kegelstift verbunden; dieser liegt allerdings außen und ist ein 5mm x26mm Kegelstift.





Abbildung 68: die Zugspindel wird eingeschoben

## 25.8 Rechten Lagerbock anbringen

Nun die Zähne zusammenbeißen: in meinen Lagerbock hatte ich die Zentrierstifte ja schon reingehauen, weil ich die für die korrekte Positionierung der Leitspindelhöhe ja schon zwingend brauchte. Um den Lagerbock an seine richtige Position anzuschrauben, muss man ihn also um die Eintauchtiefe der Zentrierstifte leicht zu sich ziehen, bis sie ihre Löcher gefunden haben und dort drin versinken. Damit verbiegt man natürlich leicht die drei Spindeln. Aber es hilft nichts. Schlossmutter öffnen und dann mit einem beherzten Ruck den Lagerbock an seine Stelle schubsen und mit zwei Schrauben (M8x25mm und M8x58mm Inbus) anschrauben.



Abbildung 69: rechten Lagerbock anbauen

### 25.9 Nutmuttern anschrauben

Nun ist die Montage fast fertig. Mit dem Andrehen der beiden Nutmuttern am Ende der Leitspindel beenden wir die Montagearbeit.

Es bleibt anzumerken, dass diese leider etwas gefressen zu haben scheinen. Mit einem kleinen Schliff auf der Flachschleifmaschine kriegt man die beiden noch in einen ansehnlichen Zustand zurückversetzt, jedoch ist die Fläche auf Seiten des Lagerbockes noch viel riefiger. Leider komme ich hier mit der Flachschleifmaschine nicht richtig hin. Man müsste die Stelle vermutlich mit einem Wohlhaupter planspindeln und dann vielleicht eine gehärtete und geschliffene Scheibe einkleben. Oder gleich ein Drucklager einbauen.



Abbildung 70: zwei Nutmuttern nach der Aufarbeitung unter der Flachschleife

Alles schön und gut, aber alles Projekte

- a) für eine Fräse
- b) für später ©

## 26 Jetzt geht es schnell.....abwärts!

Nachdem alle Teile des Schlosskastens und des Sattels montiert sind, steht nichts mehr im Weg, die Maschine endlich wieder zurück auf ihren Unterstand zu heben! Damit würde sowohl der Arbeitstisch als auch die Messplatte endlich wieder frei- welch sonnige Aussichten.

Also baue ich den Werkstattkran auf und schraube meine beiden Bolzen wieder in die T-Nut. Ich hebe an und stelle fest, dass die Maschine sehr starkes Übergewicht nach vorne hat- bedingt durch den angeschraubten Multiplikator!



Abbildung 71: Absturz aus ca. 20cm Höhe!

Ich mach einen Riesen-Fehler: ich ignoriere das!



Abbildung 72: weil ich keine passende Nutmutter habe, nahm ich diese Schraube- ein Fehler!

Glücklicherweise habe ich auch anderen Situationen heraus gelernt, dass man nie unter einer schwebenden Last stehen darf. Und das rettet mir jetzt vermutlich meine Hände, Arme oder noch Schlimmeres.

Es macht ohne irgendeine Ankündigung einen großen Knall, die Kette peitscht durch die Luft und die Maschine kracht mit ihrer linken Seite auf die Werkbank.

Ich stehe da wie elektrisiert.

#### Was war passiert?

die Schraube, die ich als Ankerbolzen in die T-Nut gesteckt (und sogar festgezogen hatte), war verkantet und so aus der Nut gerissen. Durch die extreme Schräglage der Maschine am Haken wurde der Schraubenkopf nicht mehr in Zugrichtung, sondern Schräg belastet. Dadurch rutschte der (eigentlich zu kleine!) Kopf durch die T-Nut und die Maschine fiel ungebremst auf die Werkbank. Nur etwa 20cm tief, aber bei geschätzten 200kg kracht das laut genug!

Epot = m\*g\*h

Epot= 200kg \* 9,81m/s^2 \* 20\*10-2 m = 392,4 Joule. Das kracht schon!



Abbildung 73: in geringst möglicher Flughöhe auf dem Weg zum Unterstand

Eigentlich hätte ich ja nun daraus lernen und erstmal die richtigen Nutmuttern besorgen/herstellen müssen, damit mir das Ganze nicht noch ein zweites mal passiert, aber der Schaffensdrang war zu groß. Ich benutzte einen stabilen Ratschengurt, um den Schwerpunkt am Multiplikatorkasten abzufangen und die Maschine auszubalancieren. Das klappte. Aber mulmig war mir trotzdem, als ich an der schwebenden Maschine die Gewindebolzen von unten eindrehen musste, bevor ich sie auf den Unterstand absenken konnte.

# 27 MLZ4S Superstar!

Und dann kommt einer meine größten Triumphe! Ich will den Spindelstock einschaben. Ich rechne damit, dass ich auch hier wieder große Abweichungen in Seiten- und Höhengeometrie werden ausgleichen müssen. Aber es kommt anders!



Abbildung 74: Maschinenhochzeit!

Ich stelle den Spindelstock lose auf das Bett. Vorher habe ich ein wenig Tuschierfarbe da draufgepampt und die Unterseite des Spindelstockes einmal grob mit dem Biax-Schaber strukturiert. Zu neugierig bin ich, was da nun auf mich zukommt.



Abbildung 75: Bereich unter dem Spindelstock eingefärbt

Für diese Messung habe ich extra einen präzisionsgeschliffenen Prüfstab gekauft. Klar, man kann bestimmt auch einen alten Stoßdämpfer auseinanderflexen oder den Hydraulikzylinder eines alten Baggers, aber ich wollte sichergehen. Mit den garantierten maximalen Abweichung von der Zylinderform von nur  $2\mu m$  kaufe ich die "Prüfwelle 18x200mm" aus 42CrMo4 gehärtet/geschliffen für fast 100 Euro.



Abbildung 76: Prüfdorn auf 180mm Länge abfahren (hier: Y-Messung)

Eine Ausgabe, die sich gelohnt hat!

Ich messe mit meiner guten Mitutoyo Mikrometerschraube und komme tatsächlich auf exakt nur 2µm Unterschied entlang der 200mm. Eine mögliche Ovalität kann ich durch meine Messungen noch nicht einmal mehr nachweisen, so präzise scheint sie gefertigt.

Aber ist sie auch gerade? Darüber macht der Verkäufer keine Angaben oder Zusicherungen. Obwohl das bei der RDM-Messmethode ja nicht relevant ist, weil sich eine taumelnde Drehachse in der Berechnung wieder herauskürzt. Man könnte das nun vielleicht versuchen zu messen, indem man den Prüfdorn in V-Blöcke legt und unter einer Messuhr abrollt, aber zu neugierig bin ich auf die RDM-Messung!

Ich stelle die Messuhr also auf den Bettschlitten, lege den Messuhrpin von vorn an, nulle die Uhr und drehe die Spindel. Hier sehe ich an meiner  $10\mu$ m-Messuhr noch nicht einmal einen Ausschlag!

Nun wird es ernst: ich fahre den Bettschlitten nach rechts und drehe die Spindel langsam von Hand. In ca. 18cm Entfernung von der Einspannstelle messe ich einen Uhrenausschlag von sensationellen  $-20/+20\mu m$ . Berechnet man nun den X-Offset und berücksichtigt die um  $2\mu m$  variierende Dicke des Prüfdorns, kommen wir auf eine **Abweichung von der Ideallinie von nahezu unglaublichen +0.5\mu m!** 

Die Messung wird in Y-Achse wiederholt. Hier erhalte ich am Ende -5/+30μm.



Abbildung 77: Berechnung der RDM-Messung mit Prüfdorn

Ich tippe alle meine Werte in ein selbstgebasteltes Excel-Sheet und stelle mir den Endpunkt der Drehachse in einem X/Y-Koordinatendiagramm dar (siehe Abbildung 78).

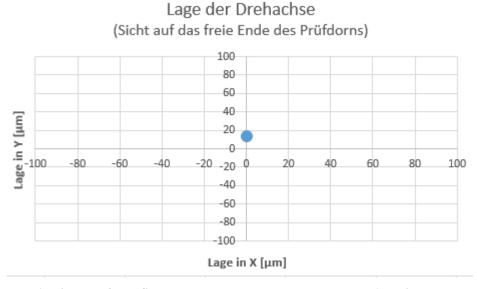


Abbildung 78: grafische Darstellung der oben berechneten Abweichung

Das Ergebnis ist eine Wucht. Die Lage ist auf Anhieb so gut, dass sie in diesem Test selbst die hohen Anforderungen von Schlesinger und dem Leinen Prüfschein (der fast eine 1:1-Kopie von Schlesinger ist ;-) erfüllt!

#### Euch sagt "Schlesinger" nichts?

Georg Schlesinger ist der Autor des "Prüfbuch für Werkzeugmaschinen". Ich habe mal für ein paar Taler die vierte Auflage von 1949 in den ebay Kleinanzeigen ergattert. Es ist sowas wie ein "Mess-Standard" geworden. In diesem Heftchen kann man für so ziemlich jeden Maschinentyp finden, wie man ihn misst und welche Genauigkeiten man erwarten kann.

Der Test, den ich gerade gemacht habe, schreibt Leinen (und Schlesinger ebenfalls) so auf:

Gegenstand der Messung	Fig.	Zul. Fehler in mm
Arbeitsspindel paral- lel zum Bett in der Senkrechtebene (nur steigend zum freien Ende des Dorns hin)	ба	0,01 auf 150 mm
Desgleichen in der Waagrechtebene (freies Ende des Dorns nur zur Stahl- druckseite gerichtet)	бъ	0,01 auf 150 mm

Abbildung 79: Auszug aus Leinen Manual "Prüfschein" von 1957

Die Richtung "a" entspricht hier Y; die Richtung "b" entspricht bei mir X. Auf 150mm Prüfdornlänge zurückgerechnet wären das bei mir  $11,5\mu m$ . Also strenggenommen gerade so am Prüfziel vorbei, aber um  $1,5\mu m$  in 17cm Entfernung will ich mich jetzt echt nicht mehr streiten!

Wen es interessiert: das Leinen Prüfprotokoll für eine MLZ4S von 1957 sieht so aus:

#### Prüfschein für eine Leinen MLZ4S von 1957:

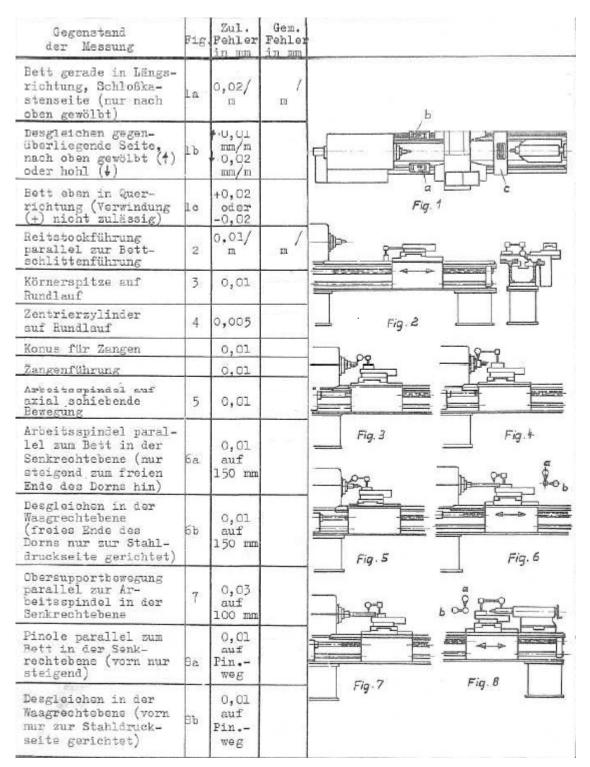


Abbildung 80: "Prüfschein für Werkzeugmacher-Drehbänke nach DIN 8605 und Schlesinger" (Leinen Manual MLZ4S, 1957)

# 28 Spindelstock einschaben

Nach diesem phänomenalen Ergebnis geht es mir eigentlich nur noch darum, die Kontaktflächen zu verbessern- und nicht mehr, irgendwelche Geometrie zu verändern. Ich schabe die Unterseite des Spindelstocks (vorher das gerade frisch eingefüllte Öl abgelassen;-) auf eine einigermaßen gute Kontaktfläche. Hier braucht man keine 40ppi-Qualität wie für ein Tuschierlineal, denn es handelt sich hierbei um einen "static fit", da reichen normalerweise 10ppi oder sogar weniger aus.



Abbildung 81: Unterseite des Spindelstocks

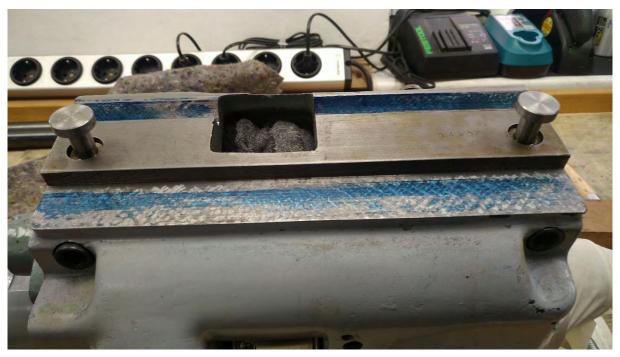


Abbildung 82: von der Fläche her schon ganz gut verteilt; es fehlt aber auch noch etwas Struktur

# 29 Leitspindel reloaded

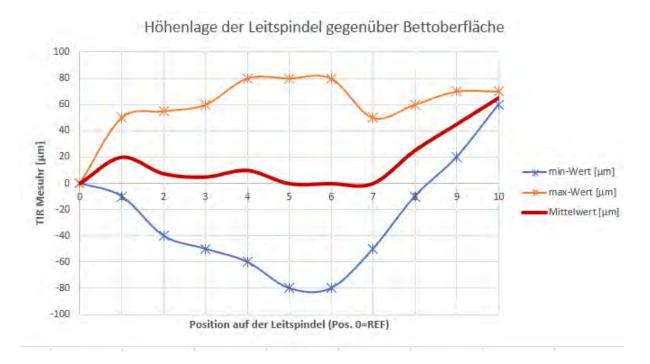
In dem folgenden Abschnitt geht es darum, dass ich noch einmal die Position der Leitspindel optimiere und sie auch hinsichtlich "Bauchigkeit" untersuche. Im folgenden zeige ich hier einfach nur meine Excel-Screenshots und ein paar Bilder:

**Messprinzip:** 10 Messstellen entlang der Leitspindel; ganz links nahe Multiplikatorkasten am Gewindebeginn ist REF=0.

Messung mit Puppitast und Surface Gage. Surface Gage oben auf das Bett gestellt und heruntergemessen

Leitspindel von Hand um 360° gedreht und dabei Nadel beobachtet (ggfs. weiterschieben, da Gewinde ja dabei "weiter läuft").

Min- und Max-Wert notieren.



#### Fazit:

Die Leitspindel ist bauchig und eiert! Ein Einschaben auf einen 0-Wert ist damit unmöglich! Zudem scheint es so, als ob der rechte Lagerbock etwas hoch; bzw. der Multiplikaktorkasten links etwas tief aufgehängt zu sein scheint.

Korrigieren wird das man aber vermutlich nicht können (Lage ist durch Pass-Stifte fest vorgegeben).

## 30 Höhenschlaguntersuchung

#### Nächste Prüfung: Schlossmutter auf/zu

Wir greifen wahllos Position 8 heraus und prüfen die Änderung der Höhenlage beim Schließen der Schlossmutter.

Das tun wir in vier verschiedenen Positionen der Leitspindel: bei 0°, 90°, 280°, 270°.

		Höhenlage LS über Be			
		Schlossmutter offen	Schlossmutter zu	Änderung [µ	m]
Drehstellung der LS	0°	-10	60	70	
	90°	30	60	30	
	180°	60	60	0	<= bester Match
	270°	10	60	50	
	360°=0°	-10	50	60	
REF=0 wie oben (Beginr	n des Gewinde	es links am Multiplikatorkasten)			

#### Fazit:

Beim Einschaben der Verbindung Bettschlitten/Schlosskasten haben wir zufällig leider gerade das Abweichungs-Maximum getroffen.

Sprich: die Höhenlage der Schlossmutter ist nun ideal für die Drehwinkelposition "180°", wo die Leitspindel ihren "Bauch" nach oben richtet.

In genau dieser Lage sind Höhenlage von LS und Schlossmutter identisch: 0µm Veränderung!

Besser wäre es jedoch, wenn die Schlossmutter nicht ob den oberen (oder unteren) Extremwert ausgerichtet wäre, sondern

z.B. auf den Mittelwert. So würde sich der Fehler besser auf den gesamten Range verteilen!

Fraglich ist es allerdings, ob man wegen ca.  $40\mu m$  wirklich den Aufwand spendieren sollte? Nach Hochrechnung würde ein  $40\mu m$  Fühlerlehrenband die Spindelmutter so tief herunterdrücken, dass der

Mittelwert es Fehlers von aktuell 42 $\mu$ m auf -theoretisch- 2 $\mu$ m heruntergedrückt werden könnte. Wir hätten dann nicht mehr einen Bereich von +70..0 $\mu$ m, sondern von +30...-40 $\mu$ m. Damit wäre der Fehler besser gleichverteilt.

Soweit meine Excel-Erkenntnisse. Und ich mache ich natürlich trotzdem: ich füge 40µm Hasbergfolie ein:



Abbildung 83: 40µm Hasbergfolie zwischengelegt!



Abbildung 84: so ein Sortimentskasten Hasbergfolie ist mit etwa 200€nicht wirklich günstig- aber beim Maschinenrestaurieren doch manchmal unentbehrlich!

Nach dem Einbauen der 40µm-Folie ergibt die neue Messung:

		Höhenlage LS über B			
		Schlossmutter offen	Schlossmutter zu	Änderung [µm	
Drehstellung der LS	0	0	40	40	
	90	30	40	10	
	180	65	50	-15	
	270	30	45	15	
	360	-5	25	30	
REF=0 wie oben (Beginn des G	ewindes links am	Multiplikatorkasten)			

#### Dazu die passende Grafik:

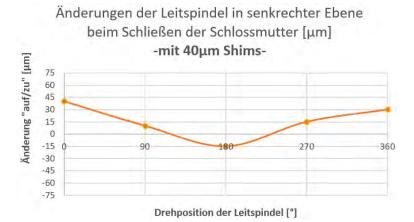
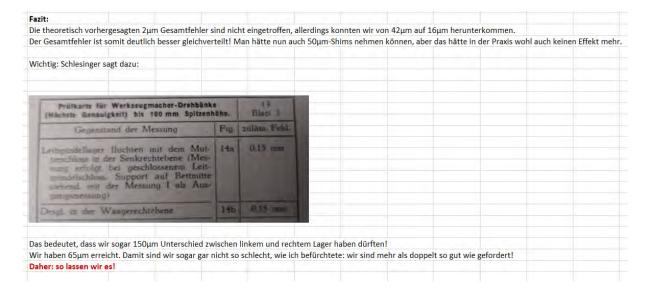


Abbildung 85: nun mit 40µm-Hasbergfolie

#### Ich schreibe in mein Excel:



Dem will ich nicht widersprechen. Schon gar nicht mir selbst :-)

## 31 Planschlitten

So, jetzt geht es weiter mit dem Planschlitten. Meine Taktik ist tatsächlich die, dass ich -bevor ich irgendeine Messung mache- den Untergrund eben schabe. Denn auf einem wackelnden Untergrund kann ich eh keine Messungen machen, von daher starte ich immer erstmal damit.

Ich weiß, das machen andere anders und vermutlich würde es Richard King auch anders lehren, aber das ist nunmal "meine" Weise.



Abbildung 86: die kleine Tuschierplatte reicht hier



Abbildung 87: Originalzustand- es gibt was zu tun!



Abbildung 88: es wird schon...



Abbildung 89: so kann ich es lassen für die erste Messung

Die aktuell benutzte Tuschierpastenmischung aus

50% Canode 2243 "Die Spotting blue"

50% Charbonnel " Preußischblau

ist wirklich super und erzeugt schön kontrastreiche Tuschierbilder!



Abbildung 90: mal eben interessehalber oben tuschiert...da wartet auch noch Arbeit!

Aber nun wird wirklich erstmal gemessen, also ab auf die große Granitplatte. Zu meiner Überraschung zeigt sich, dass die Oberseite bereits jetzt auf etwa 10..15µm parallel zur Unterseite ist. Das ist erfreulich!

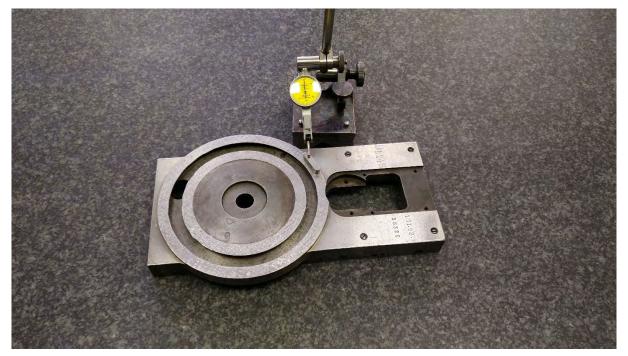


Abbildung 91: Messung der Parallelität des Planschlittens

Ober- und Unterseite sind eingeschabt und auf etwa 10µm parallel und eben zueinander. Also schaben wir nun die feststehende Seite des Schwalbenschwanzes erstmal gerade. Das ist immer so eine Sache, denn man kommt meistens nur sehr schwer hinein und die Aufspannung ist oft auch recht kniffelig.



Abbildung 92: etwas improvisierte Schabe-Halterung- aber klappt gut!

Das habe ich mir aber eine Idee aus der Zerspanungsbude abgeguckt: zwei gegeneinander geschraubte Fräswinkel bilden eine superstabile und flexible Basis zum Positionieren und Schaben von Werkstücken, die man unter einem bestimmten Winkel schaben muss. Also investiere ich weitere knappe 100€und bestelle mir einen zweiten Fräswinkel aus chinesischer Produktion. Zugegeben- die Schlitze sind nicht wirklich sauber gefräst und er sieht daher auch etwas "ruppig" aus, aber dafür kostet er eben auch nicht tausend Euro wie ein aufwändig gefertigter Präzisionswinkel, sondern nur ein Zehntel. Man kriegt immer nur das, wofür man auch bezahlt.

Sobald der SSW eben ist, teste ich probehalber seinen Sitz mit der noch ungeschabten Keilleiste (die gar kein Keil ist, sondern ähnlich wie bei meiner Myford S7 eine Parallelleiste).



Abbildung 93: links wie rechts etwa 10..15µm Spiel

Auch hier bin ich überrascht: bereits jetzt erreiche ich eine ziemlich sauber und "smooth" wirkende Schlittenbewegung bei nur etwa 15µm Seitenspiel. Und das in noch nicht gematch-tem Zustand! Das macht Mut!

## 32 Matching

Unter "Matching", also "anpassen", versteht man das Einschaben zweier Bauteile gegeneinander. Eins wird dazu zum "Master" ernannt, also zur "Referenz" und nicht verändert. Der "Slave" wird dann gegen den Master tuschiert und so lange geschabt, bis beide maximal gut zueinander passen. Es geht hier also nicht mehr darum, möglichst gerade und eben zu einem Tuschierlineal oder der Messuhr zu sein- hier soll die bestmögliche Anpassung zu seinem Gleitpartner erreicht werden!



Abbildung 94: Matching zwischen Sattel und Planschlitten

Ein wenig "kratzig" scheint mir die Bewegung an einigen Stellen allerdings doch zu sein, daher will ich nach "Very high spots" suchen. Normalerweise reibt man dafür die bereits tuschierte Fläche auf der Granitplatte und poliert damit die wirklich aller-aller-allerhöchsten Punkte spiegelblank. Mit einem Stift werden sie markiert und dann gezielt weggeschabt (Dive Bomb).

Bei dem Sattel geht das natürlich nicht, denn man kommt ja mit keiner Granitplatte in den Schwalbelschwanz. Ich habe mal was anderes versucht....



Abbildung 95: Matching der Flachführungen zwischen Support und Planschlitten

Und zwar kann man ein Haarlineal nehmen und damit die eingeblaute Fläche vorsichtig wie mit einem Spachtel "abziehen".



Abbildung 96: alternative Methode zum Finden von High-Spots

Und siehe da- das Haarlineal kratzt auch dort, wo es die Fläche berührt, die Farbe herunter und macht die very high spots sichtbar. Natürlich darf man dabei nicht scheuern wie ein Irrer, denn sonst runiniert man sich die feine Messkante des Haarlineals. Aber ganz leicht und vorsichtig zur sich Ziehen sollte das Lineal auf jeden Fall unbeschadet aushalten.

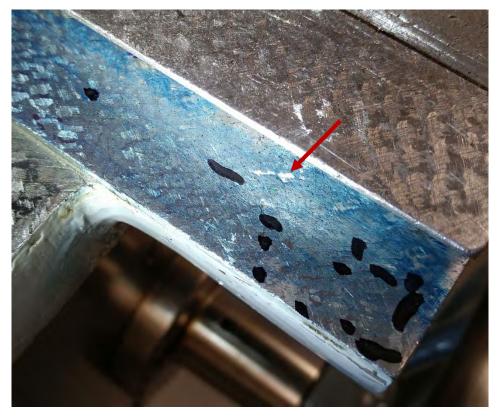


Abbildung 97: Very High Spots sind markiert; weitere warten noch (Pfeil)



Abbildung 98:...und noch einmal abziehen

Ich bombe also fröhlich die Very high spots weg und beginne dann das Matchen. Erst sieht es noch vielversprechend aus....



Abbildung 99: erster Matching-Durchgang (mit viel zu viel Farbe, ich weiß)

Dann auf einmal wird das Tuschierbild zunehmend dünner und dünner!



Abbildung 100: warum wird das Tuschierbild denn auf einmal so dünn?

Also irgendwas geht hier doch nicht mehr rechten Dingen zu! Was ist hier los??? Ich überprüfe den Drehpunkt, messe mit Fühlerblattlehre und Haarlineal nach. Aber nichts Auffälliges. Bis ich eines Abends die Werkstatt "nachtfein" mache, alle Werkzeuge sauber mache und danach satt einöle.

Dann dämmert es mir....

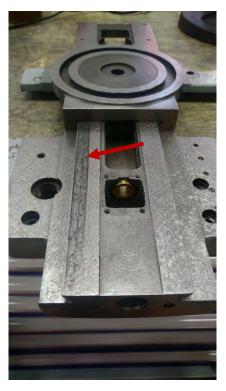


Abbildung 101: Nanu!!!

Das Problem: der Planschlitten setzt auf! Wie man an den Schleifspuren im Öl sehen kann, haben nicht nur die Führungsflächen Kontakt, sondern ebenfalls die Unterseite des Planschlittens. Das ist aber gar keine Referenzfläche und daher auch nicht gewollt!

Das Prüfen mit einer 10µm Hasbergfolie bestätigt es mir: kein Luftspalt mehr vorhanden, der Planschlitten setzt hier ungewollt auf!

Ergo: ich muss hier etwas Platz schaffen. Ich natürlich durch Schaben, denn ich wiederhole es sehr gern noch einmal: meine Deckel FP1 liegt noch immer auseinandergenommen verteilt in der Werkstatt herum, weshalb ich nichts einfach "mal eben überfräsen" kann.

Vorher jedoch messe ich nochmal. Ich erinnere mich, dass ich die Oberseite damals erst als Referenzfläche parallel zu den Führungen geschabt hatte, sie dann aber –nach erfolgter Geometriekorrektur der Führungsbahnen- aus Aufwandsgründen nicht mehr nachgezogen hatte. Ich erwarte also, dass die oberen beiden Bahnen nach hinten hin abfallen. Und das tun sie auch: mit einer auf den ersten Blick etwas abenteuerlich aussehenden Messkonstruktion kann ich aber sicher beweisen, dass sie gegen Ende etwa 40µm abfallen.





Abbildung 102: Überprüfung der Parallelität zur Flachführung





Abbildung 103: die obere Bahn fällt gegenüber der Flachführung um 40µm ab - links wie rechts

Korrigieren tut man das natürlich mit Step Scraping. Habe ich schon oft erklärt, mach ich also nicht nochmal. Am Ende dann noch ein paar Roughing passes drüber für bessere Ebenheit (schick soll es ja trotzdem aussehen) und fertig ist der Lack.

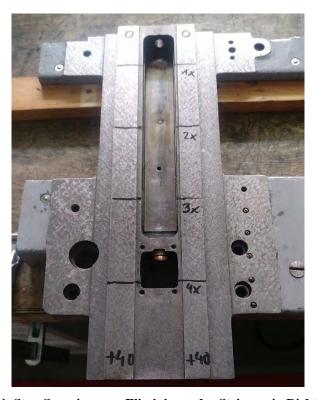


Abbildung 104: Step-Scraping zum Eliminieren der Steigung in Richtung Benutzer

Nun wollen wir sehen, ob das Herunterschaben auch erfolgreich war. Ich schmiere die beiden oberen Flächen des Sattels mit Tuschierfarbe ein und schiebe dann den Planschlitten drüber. Ergebnis: Maßnahme erfolgreich, nichts stößt mehr ungewollt an!



Abbildung 105: dann die Fläche mit Tuschierfarbe einstreichen und gucken, dass der Planschlitten jetzt frei läuft und oben nicht mehr aufsetzt- das sieht hier jetzt gut aus!

## 33 Keilleiste- die aber keine ist ;-)

Nun wäre als nächstes das korrekte Einpassen des Planschlittens an den Sattel auf dem Programm. Dazu brauche ich zwingend eine gut kontaktierende Keilleiste; bei einer Leinen als "Druckleiste" ausgeführt. Egal- eben muss sie trotzdem sein. Weil sie das noch längst nicht ist, schabe ich sie ein. Vorher habe ich sie natürlich mit Schraubzwinge und Messuhr schonmal vorgebogen, damit ich nun wirklich nur noch die Feinheiten schaben muss.



Abbildung 106: Keilleiste einschaben. Setup mit Magnetspannplatte und Fräsunterlagen zum Blocken des Werkstücks beim Schaben

Wegen des sehr geringen Gewichts ist das Tuschieren und Hingen manchmal etwas schwierig. Auch bilden sich hier nicht wirklich Schabetäler und –berge aus, zumindest zeigt sich das bei dem von mir nur beherrschten geringen Level der Tuschiertechnik nicht.

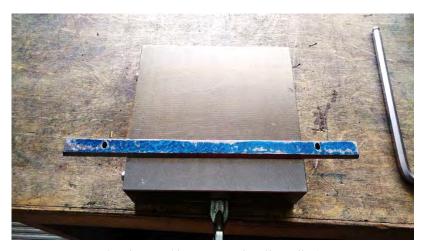


Abbildung 107: Druckleiste "blau";-)

Egal, so schlecht sieht es für mich nicht aus, ich prüfe vorher mit dem Haarlineal und mache einen ersten Einpassversuch.



Abbildung 108: okay, definitiv zu viel Tuschierfarbe...

Das war definitiv noch zu viel Tuschierfarbe. Also was runtergewischt und nochmal.



Abbildung 109: schon besser

So 100% perfekt zufrieden bin ich damit allerdings nicht. Obwohl die Führungen entlang ihrer Fläche überall irgendwo tragen, sieht es noch nicht homogen aus.

Die Lüftiger Brüder würden mir das wahrscheinlich -zu recht- um die Ohren hauen.

Ich mache noch ein paar Finishing passes (zumindest was ich für "finish passes" halte ;-), denn ich will definitiv zum Ende kommen. Also lege ich die 1Zoll-Schablone auf und zähle Punkte. Mit etwas Gutmütigkeit komme ich selbst an den schwächer aufliegenden Stellen (also so, wo der Traganteil nur relativ gering ist) auf dennoch etwa 24, 24 und 27ppi. Und an der schlechtesten Stelle zähle ich –mit etwas gutem Willen, zugegeben- 19ppi. Man darf auch nicht vergessen, dass die Flachführung etwas schmaler als 1Zoll ist und die Schablone nicht komplett ausfüllt, ich also die gezählten ppi's strenggenommen vorher erst noch auf 1Zoll hochrechnen müsste.



Abbildung 110: definitiv kein Meisterstück (unten links etwas mager, rechts zu verschmiert), trotzdem lasse ich es so

Nun gut, ich lebe damit und auch das Tuschierbild im Schwalbenschwanz begeistert mich nicht wirklich, aber würde ich in Anbetracht des Zeitaufwands so erstmal "nehmen".

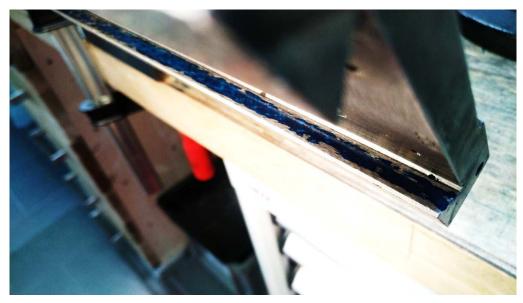


Abbildung 111: der SSW scheint ebenfalls Kontakt zu haben

Dann der Test: ich baue den Planschlitten auf den Sattel und wackele ihn bei angelegter Messuhr hin und her. Je nachdem, wie stramm man die Keilleiste einstellt, kann ich bis zu etwa 5µm Seitenspiel erreichen- wobei dann der Planschlitten aber schon relativ stramm zu verschieben geht. Was aber wichtig ist: er geht überall gleich stramm; wir scheinen also eine ziemlich ebene Bewegungsebene geschafft zu haben!



Abbildung 112: sehr befriedigendes Seitenspiel! (ca. 5µm)

Nebenbei ebne ich mal eben die eine Seite meines 2ten China Aufspannwinkels etwas ein. Nur so aus Spaß am Schaben. Dauert ja nicht lange, wenn man nicht gleich 40ppi braucht.



Abbildung 113: China-Aufspannwinkel notdürftig geschabt

## 34 Höhenlage der Planspindel?

Nun wird es wieder kniffelig. Ich baue den Sattel und den Planschlitten an die Maschine und frage mich, ob die Höhenlage der Spindelmutter denn nach all dem Schaben überhaupt noch stimmt!

Die Parallelheit zu den Führungsflächen des Planschlittens haben wir ja mit viel Mühe in den Kapiteln 12 bis 16 verhirnt und schließlich auch erreicht. Aber das war ja nur die "Steigung". Die korrekte Höhe war da (noch) egal. Im Zusammenspiel mit der Spindelmutter sieht es allerdings anders aus: müssen wir hier noch was korrigieren? Und wenn ja- wie messen wir das?

#### Kleine Erklärung:

Wenn wir die Führungsflächen bearbeiten, schaben wir dort ja Material weg. Dieses weggeschabte Material führt dazu, dass die Führungsflächen dünner werden und sich z.B. Planschlitten und Sattel näher kommen. Weil die Planspindel an einem Bauteil (Sattel), die Planspindel<u>mutter</u> jedoch an dem anderen Bauteil (Schlitten) befestigt ist, werden sie durch das Schaben gegeneinander verschoben!

Das Problem: wenn die Mutter nicht mehr in derselben Höhenlage läuft wie ihre Spindel, verkantet sie zunehmend, je näher sie der (festen!) Lagerstelle der Spindel kommt. Im schlimmsten Fall klemmt sie sogar und blockiert den Planschlitten. Aber selbst wenn es soweit nicht kommt- in jedem Fall haben wir hier unnötig erhöhten Verschleiß!

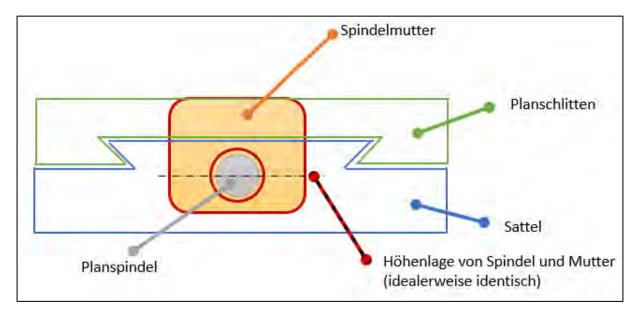
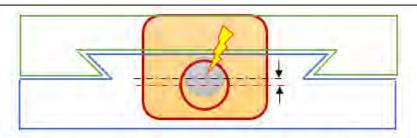


Abbildung 114: vor dem Schaben



Wenn Führungsflächen geschabt werden, schaben wir Material weg. Als Folge davon kommt der Planschlitten tiefer herunter. Mit ihm zugleich aber auch die Spindelmutter!

Folge: Höhenlage von Spindel und Mutter nicht mehr identisch => impact!

Abbildung 115: Höhenversatz nach dem Schaben!

Wir müssen uns überlegen, wie wir das prüfen können. Ich beschließe irgendwann, zwei Präzisionsfräsunterlagen auf das Bett links und rechts neben den Planschlitten zu stellen und mit meinem Tuschierlineal quasi eine "Brücke" darüber zu schlagen.



Abbildung 116: Spindelmutter lose auf die Spindel geschraubt

Mit einem Satz aus meinem Endmaßkasten baue ich mir einen Stack zusammen, der genau zwischen diese Brücke und der lose aufgedrehten Spindelmutter passt, so dass sie weder klemmt noch wackelt. Das sind hier zufällig 44,00mm.

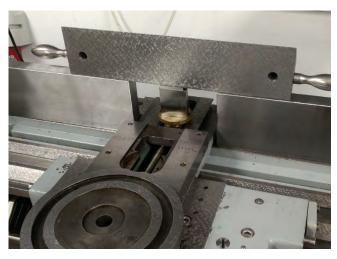


Abbildung 117: exakt 44,00mm passen dazwischen

Nun drehe ich die Spindelmutter wieder herunter und schraube sie fest in den Planschlitten ein. Ich kurbele das Teil wieder direkt unter die Brücke und stelle fest: aha! Der 44,00mm-Endmaßblock hat jetzt auf einmal Luft!

Bedeutet: wie zu erwarten, ist die Spindelmutter nun tiefer als vorher!



Abbildung 118: nun passt zusätzlich auch eine 100µm Fühlerblattlehre dazwischen!

Mit einer Fühlerblattlehre ermittele ich, dass sie nun etwa 100µm tiefer liegt, als sie gerne würde.



Abbildung 119: Zuschneiden der 100µm Hasbergfolie

Ich muss also 100µm-Streifen unter die Mutter legen, damit sie etwas höher eingebaut werden kann. Nämlich in genau der Höhe, in der sie auch wäre, wenn sie nicht am Planschlitten angeschraubt wäre, sondern nur lose auf der Planspindel steckt (wie in Abbildung 116 zu sehen).



Abbildung 120: 100µm-Folie Schnipsel

Das Zuschneiden geht noch mit einer Schere. Doch das Einbringen der Löcher scheitert. Ich probiere ein Henkellocheisen mit Holz- sowie Stahlunterlage. No way- die Hasbergfolie ist so hart, eher bricht mein Locheisen in der Mitte durch.



Abbildung 121: Locheisen klappen nicht bei der Hasbergfolie



Abbildung 122: 100µm-Unterlagen gelocht und eingepasst

Ich dremele schließlich die Löcher mit einem Edelkorund Schleifstift durch. Man sieht an den Rändern noch deutlich die Spuren der Hitzeentwicklung.

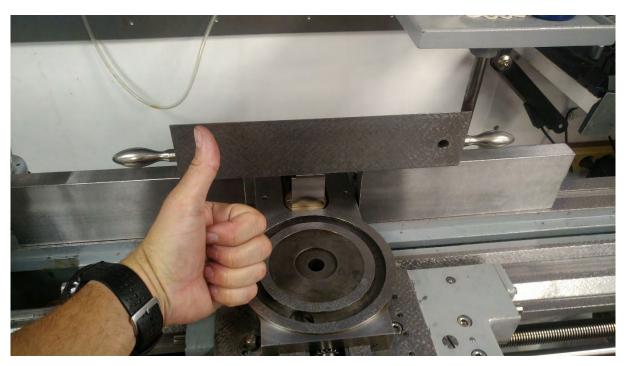


Abbildung 123: mit untergelegter 100µm-Folie haben wir nun exakt dieselben Höhenverhältnisse wie als wenn die Mutter frei auf der Spindel säße\* (Test mit 44,00 Gage blocks)

Aber die Operation gelingt: die 100µm-Unterlagen sitzen sauber in der Einbaumulde und die nun eingesetzte Spindelmutter hat nun genau dieselbe Höhe wie früher. Der Beweis: der 44,00mm Endmaßblock passt nun wieder sauber unter meine "Messbrücke".

\*Achtung: die Spindel hat leider einen Höhenschlag, den ich hier nicht berücksichtigt habe! Siehe Kapitel 57.1!

Wo ich schonmal dabei bin, erneuere ich den Schmiernippel und ziehe die Oberseite der beiden Schlitzschrauben etwas auf dem Bankstein ab.



Abbildung 124: Nutmutter mit -zum Messen- etwas geschlichteter Oberfläche und neuem Schmiernippel

Natürlich steht die Spindelmutter nun diese  $100\mu m$  über die Oberfläche der gefrästen "Tasche" hinaus. Wer eine einsatzbereite Fräse hat, könnte diese  $100\mu m$  nun von der Oberseite der Spindelmutter abfräsen.

Weil ich aber keine einsatzbereite Fräse habe und der aufgeschraubte Späneschutz trotzdem noch einwandfrei über die Spindelmutter passt, spare ich mir das. Wie gesagt- irgendwann einmal fertig werden- keinen 4.Teil dieses Reparaturberichts! ;-)

### 35 erstes Probedrehen

Als der Planschlitten sitzt, kann ich es nicht mehr aushalten- ich muss unbedingt endlich ein paar Probe-Späne machen!!! Alleine für die Motivation!!

Doch vorher muss ich die Maschine in Betrieb setzen. Dazu gehört das (provisorische) Auflegen des Flachriemens.

Von anderen Leinen-Besitzern habe ich erfahren, dass diese ihren zerschnittenen Riemen genäht hatten und die Maschine so benutzen konnten. Das hört sich vielleicht nicht professionell an, ist aber einen Versuch wert.

Also den Flachriemen mit einer Gürtellochzange in zwei Reihen gelocht, dann mit zwei Kabelstrapsen die Enden zusammengehalten und den Faden und Nadel herausgeholt.



Abbildung 125: Lederriemen bereit zum Vernähen!



Abbildung 126: das Vernähen beginnt. Die Kabelstrapsen können gleich abgenommen werden und durch Zwirnfaden ersetzt werden.

Sind wir ehrlich: natürlich hat mein Nähen zweifellos Hobbycharakter. Auch weiß ich nicht, ob es eine bestimmte Reihenfolge oder eine Systematik gibt, wie man solche Nähte richtig macht. Ich will ja die Maschine damit aber auch nur probeweise in Betrieb nehmen. Dafür tut es aber mein Hobby-Nadel-Faden aber sicher auch.

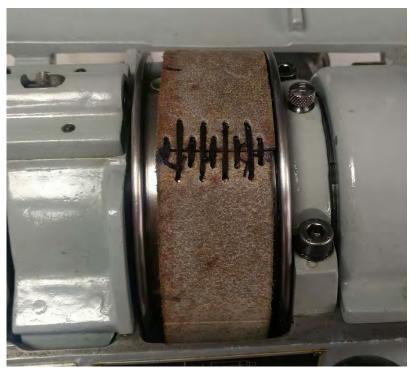


Abbildung 127: fertig!

So, das wäre geschafft. Nun kümmern wir uns um das Öl.

# 36 Öl für die MLZ4S

Bevor ich die Maschine einschalten kann, muss natürlich Öl aufgefüllt werden. Wo, und welches, schreibt die Schmieranleitung:

	Schmieranleitung für unsere Präzisionsdrehbänke		
Richtigs Schmi	erung unter Vermerdung backgom Mandhisen, whold three Laborsday	at angenentier Summiretalle : er and vermeine Satriabasthus	onbewert die Arbeits- gen und deren Folgen.
	Eryrolity Sch	micratollo, z. B	
	Spinde[8]	Getrionedi	Spannigefatt
•	ARAL DELOMO BLOST (T,B E) 20° C	ARAL Cel CMU 25 GS EJ 50° G, ARAL Cel K 25 eSt (86 E) 50° C	ARAL Fell HL 2 Tropfpunkt 180° C
1	BP Exempol HP 1 9,7 eSt (1,8 E) 20° C	BP Energol HLP 100 36 ±St (4,8 E) 50° C	EP ENERGREASE HSB: Trop/pankt 170° C. EP ENERGREASE LS 1 Trop/pankt 190° C
Castrel	CASTROL MASNA ZA 114 vSt (19) El 201 C.	CASTROL ALPHA 217 20,5 451 (4,5 E) 50° C. CASTROL HYSPIN AWS 52 35 651 (4,7 E) 50° C	CASTROL SPHEEROL AP 2 Troptpunkt 195" C
	Chavron Spindle Oil 1X 0,4 cSr (1,52 E) /21° O	Chevran Et/ Hydraulic Oil [5, 340 nSt (4,6 E) 30° C	GHEVRON Durz-Lift Grease 2 Trapfounit 185° C.
Consoft	COMPOR M I. B eSt (1,7 E) D0' D	COMBORSOL 450 39,4 C31 (4,5 E) 20° C 60ar COMBOR KM 36 25 (53 E) 30° C	CONDOR Fee 712 Tropfpunkt 191° C
Esso	NUTC H 22 5,0 bSt (1,7 E) 20' II	ESSFIC RI 35 ≥91 (4.7 F) 53° C, TERESSO 52 35 (51 (4.6 E) 53° C	BEACON 2 Troofpunkt 190° C
M@bil	Mabil Velocite Oi No. 4 9 c5t (1,74 t) 50 °C, Mobil Velocite O/ No. 3 1,4 c6t (1,2 t) 50 °C	Mokel Vaetra Oil Hearly Medium 25 cSt (4.7 E) 50° 0	GARGO*LE FETT 1260 Tropfounk! 185° C, MOBILUX 2 Tropfounk! 182° C
Shan	Shall Table Co. 11 10 cSt (1,9 E) 20° C other 3hell Col JY C by cSt (1,7 E) 30° C	Shri Vitros Dul 38 35 c3: (4,3 E) 30° C Voltot Olekovi u 34 u3: (4,0 E) 30° C	Shell Alvenia Felt 2 Troofpunkt 185 C
SUNDCO	SUNVIS 906 5,7 651 (1,4 E) 50° C	50NVIS 911 382 331 61 61 50° C	SUN MULTI DUTY GREASE Nt. Z. Trodforkt 188° C.
Verschludenen 5	banen Analysantision dar in tibensi Filmon Bendolt av sich um ca-War Ben nit Dren Fachingonisuren der santen Vertaulesble(langen und b	Scheinbernischen Dienstes	ijen Schniferstoffscatsm
zur Vindigung	einen - 7300 Ess Salvakturskratia 13-23 - Telefra (0	lingen-Neckar •	Postfach 64

Abbildung 128: Auszug aus Leinen LZ4S Bedienungsanleitung (Quelle: Internet)

Doch keine Schmieranleitung der Welt kommt gegen Vinzenz, das "Leinen-Lexikon" an. Er weiß aus dem Kopf, welche Schmierangabe direkt vom Hersteller kommt und welche Daten höchstwahrscheinlich von anderen Firmen (z.B. Leinen Vertriebspartner) nachträglich dem Manual hinzugefügt wurden- und das sogar jahrgangsabhängig!

Nach kurzer Beratung sowie einer kleinen selber initiierten Umrechnungsorgie von Grad Engler in heutige Viskositätsklassen von Hydrauliköl bin ich mir sicher:

An meiner Maschine habe ich folgende Stellen, wo Öl eingekippt wird:

- Getriebe e12: HLP68, 0,1Liter
- Multiplikator: HLP68, nach Bedarf (Ölschauglas)
- Schlosskasten: HLP68, nach Bedarf (Ölschauglas)
- Spindelstock: HLP68, nach Bedarf (Ölschauglas)

Wichtig: Spindellager wird bei meiner Maschine mit Fett gemacht! Ich nehme Klüber NBU 15.

• Bettbahn/Gleitbahnen: laut Manual eigentlich genau dasselbe Öl wie sonst auch, allerdings bevorzuge ich hier "richtiges" Bettbahnöl CGLP 68

Und auch Oliver aus der Zerspanungsbude darf hier nicht unerwähnt bleiben. Als "Öl-Papst" weiß er sofort, welche Additive im Öl welche Wirkung haben und daher lieber nicht (oder gerade weil) verwendet werden sollten.

Hut ab vor dieser Sachkenntnis!

Mit all diesem Wissen und Beratung erstelle ich mir meinen eigenen Leinen MLZ4S Schmierplan.

Wohlgemerkt: das hier gilt erstmal nur für meine eigene Maschine. Bevor ihr eure eigene nach dieser Anleitung ölt, informiert Euch bitte, ob die hier baugleich mit meiner ist. Ich übernehme hier keine Haftung!

#### Schmierplan Leinen MLZ4S

Serial 26326 01.11.1962

Quelle: Leinen Manual

M. Michalzik JUL 2020 V1.0

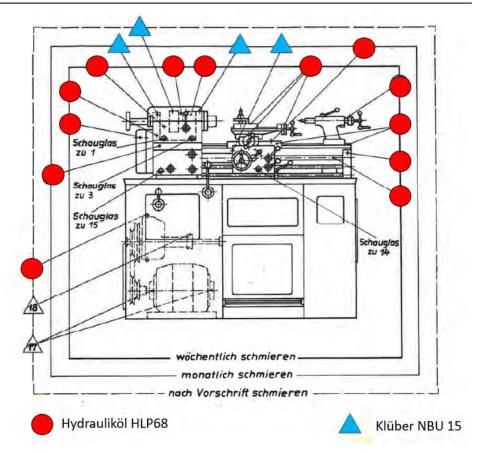


Abbildung 129: mein eigener Schmierplan (Seite 1/2)

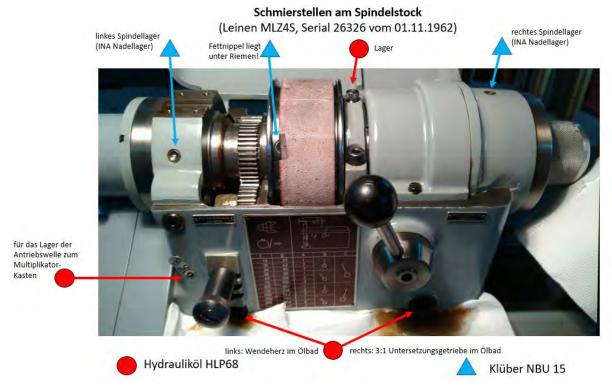


Abbildung 130: mein eigener Schmierplan (Seite 2/2)

### 37 Wilma dreht!

Und nachdem ich in mühevoller Arbeit alle Ölmengen sauber hineingegossen und auch sogar noch etwas Klüber NBU 15 in die Spindellager gepresst habe, kann es endlich losgehen: Wilma macht die ersten Späne!!



Abbildung 131: die MLZ4S dreht sich nach etwa einem halben Jahr zum ersten mal wieder!

Ich bin kein gelernter Dreher. Vielmehr bin ich blutiger Anfänger- auch bei der Wahl der korrekten Vorschub- und Schnittgeschwindigkeiten sowie Wendeplattengeometrien. Ich spanne daher "irgendwas nach Gefühl" ein und mache meine erste Fläche in normalem Baustahl.

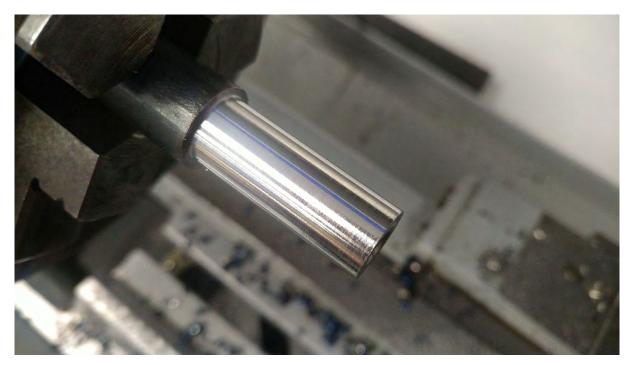


Abbildung 132: gewöhnlicher Baustahl, von Hand gedreht- das Finish ist fast spiegelblank!

Das Ergebnis: ich bin begeistert!!!

Die mal eben dreifliegend übergedrehte Fläche ist nicht nur auf 10µm genau gleich dick, sondern ist zudem auch spiegelblank! So eine Oberflächengüte habe ich vorher nicht erreicht!

Warum ich das sagen kann? Weil ich genau am anderen Ende dieser Stange Baustahl mit Wilma noch VOR der Restauration eine Fläche gedreht hatte. Und die sah so aus:



Abbildung 133: Drehergebnis VOR der Restauration

Und trotzdem: wir sind längst noch nicht am Ende unserer Reise! 😂

## 38 Axialspiel

Doch dann entdecke ich doch wieder was: Axialspiel! Genau das, was Lennart mir in Teil1 des Berichts so professionell "weggezaubert" hatte, ist nun wieder da. Warum? Keine Ahnung. Aber Wilma hat seit dem Test im Keller des Verkäufers eine Menge erlebt- nicht nur auf der A7, sondern auch mit Hubwagen, Kran und Seilwinden. Nicht zuletzt das Auseinanderbauen bei mir für das Einschaben kann vielleicht ein wenig Auswirkungen auf die Lagereinstellung gehabt haben.

Also tue ich das, was Lennart damals tat: Anleitung lesen und das Lager nachstellen!



Abbildung 134: hintere Nutenringe abschrauben und das Drucklager entfernen



Abbildung 135: so sieht das Drucklager aus

Das Drucklager wird in Petroleum im Ultraschall gewaschen und danach mit Klüber Isoflex NBU15 eingeschmiert.



Abbildung 136:Schmieren mit Klüber Isoflex NBU 15

Wie genau man das Axialspiel einstellt, lest bitte selber in der Anleitung. Das ist in der Praxis gar nicht so irre einfach, denn das Messen solch winziger Axialspiele mit der Messuhr ist eine ziemlich esotherische Angelegenheit. Erst recht, wenn die Anleitung sagt, dass das Axialspiel etwa 3µm betragen sollte und Schlesinger ebenfalls mit 5µm daherkommt.



Abbildung 137: sicher ein bisschen zu viel Fett, aber eine Lagererwärmung konnte im Testbetrieb nicht beobachtet werden

Ich stelle also die 3µm Spiel ein- so gut es geht, denn das ist kniffelig!



Abbildung 138: auf etwa  $3\mu m$  eingestelltes Axialspiel

Dann starte ich die Maschine und lasse sie langsam laufen. Ich bemerke schnell, dass das rechte Lager ein wenig warm wird, das linke jedoch kühler bleibt:



Abbildung 139: das rechte Spindellager wird warm; nicht jedoch das linke

Also mache ich einen kleinen Test: 5 Minuten lang bei Höchstgeschwindigkeit im Leerlauf drehen lassen und dann mit der Wärmebildkamera die Temperatur messen.



Abbildung 140: das linke wird nur etwa knappe 30°C warm, das rechts über 15K wärmer

Wir erkennen, dass das linke Lager (also das Drucklager) mit knapp 27°C absolut kühl bleibt, während das rechte Spindellager mit 45°C doch schon deutlich warm wird. Außerdem ist das winzige Axialspiel nun zu 0µm komplett verschwunden und das gefällt mir gar nicht. Schlesinger hin oder her- lieber ein paar µm mehr Spiel als ein überstresstes Spindellager, das man nicht mehr als Ersatzteil nachbekommt!

Also vergrößere ich das Axialspiel auf ca. 12µm (Kaltzustand).



Abbildung 141: Axialspiel nun zwischen 2μm und 14μm Anzeige => ca. 12μm

Der Test wird wiederholt (5min auf Umax).

#### Nun messen wir das da:

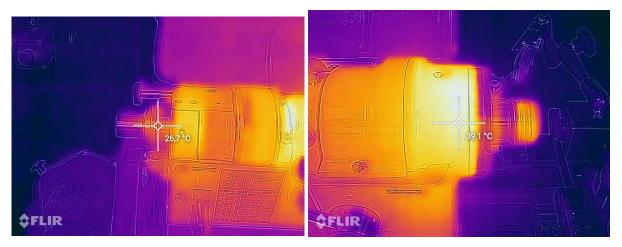


Abbildung 142: links exakt wie vorher, rechts etwas kühler. Trotzdem noch ~10K wärmer als beim Abholen (Überfettung?)

Das Drucklager erreicht exakt dieselbe Temperatur wie vorher (+26,7°C).

Das Spindellager hingegen scheint von dem erhöhten Axialspiel zu profitieren. Es bleibt etwa 6K kühler als zuvor.

Und trotzdem: damals, im Keller des Verkäufers, da blieb das Spindellager nach 5min Höchstgeschwindigkeit immernoch deutlich unter 30°C!

#### Die Erklärung?

Ich wahrscheinlich selber schuld. Es ist genau das passiert, wovor mich Lennart schon warnte: zu viel Fett im Lager bedeutet, dass die Lagertemperatur stark steigt. Und da hat er vermutlich recht, denn eine andere Erklärung gibt es nicht. Die Testbedingungen waren genau die gleichen und an der Spindel hat niemand zwischenzeitlich "herumgefummelt".

Ich bin also vermutlich selber schuld; Lennart meint aber, dass eine Spindel unter Volllast auch schonmal 50 oder gar 60°C heiß werden kann, ich mir also keine Gedanken machen muss. Das werde ich auch nicht, sondern meine Restauration fortsetzen.



Abbildung 143: Rückblick Januar 2020 beim Verkäufer: hier blieb die Spindel 10K kühler!

## 39 Vermessen des Reitstocks

Nach diesem kurzen Dreh-Motivations-Intermezzo wollen wir die Restauration aber auch ordentlich zu Ende bringen: wir kümmern uns um den Reitstock!

Das ist ein ganz wichtiges Thema, denn ein schief oder nicht auf der Drehachse ausgerichteter Reitstock führ automatisch immer dazu, dass die Drehe nachher Tonnen dreht und keine Zylinder.

Der Reitstock wird eingeschabt. Und zwar in zwei Aspekten:

- a) seine Höhe
- b) seine Neigung

Um das zuverlässig und reproduzierbar nachzumessen, braucht es leider hochwertige und teure Messmittel. Also habe ich sie mir alle gekauft (und bis heute nicht bereut):

- 200mm Präzisions Prüfwelle (Durchmesser 18mm) mit Abweichung von Rundheit <=2μm total
- Mahr Messtaster mit 2µm Auflösung
- Fisso Messuhrhalter mit Feinverstellung (die bei dieser empfindlichen Messuhr allerdings auch an ihre Grenzen kommt!)
- 1 Satz ausgemessene und sauber abgezogene MK2 Spitzen
- 1 Satz abgedrehte MK2 Prüfdorne mit möglichst identischem Durchmesser

#### und dann natürlich noch

• 1 Adapter von 363E Spannzange auf MK2

Den zu kriegen, hatte ich mehr Glück als Verstand. Er war in einem auf eBay angebotenen Set von allerhand altem Leinen-Gedöns mit enthalten und auf den Bildern kaum sichtbar. Erst eine Anfrage an den Verkäufer bestätigte, dass dieser extrem seltene Adapter auch mit dabei sei. Ich zögerte nicht lange und klickte bereits 1 Minute später auf den Kaufen-Knopf. Glücklicherweise war der Zustand des Sets noch erstaunlich gut. Ich hätte auch Pech haben können und einen Satz verrostetes Altmetall geliefert bekommen. Da habe ich gepokert- aber hatte keine andere Wahl. So schnell gibt es nicht wieder ein Angebot mit diesem Adapter.

In Summe reden wir von Equipment von etwa 750Euro- selbst wenn man einige Sachen gebraucht kauft. Aber es hilft nichts, das meiste Zeug braucht man ja nicht nur einmal, sondern auch später immer wieder.

Wir beginnen mit der Messung der Höhe des Reitstocks. Das mache ich mit vollständig eingezogener(!) Pinole.

Achja, wichtig: damit die folgende Messung keinen Böschungsfehler durch abfallende Winkel erfährt, muss man vorher die seitliche Reitstockabweichung vorher korrekt auf 0 stellen! (=Vierkant am Reitstocksockel). Macht man das nicht, tastet die Messuhr nicht immer auf derselben Höhenlinie des Prüfstabs ab und das erzeugt somit zusätzliche Messfehler!

### 39.1 Höhe Variante 1

Ich spanne den Präzisions-Prüfstab zwischen den (vorher auf Rundlauf gemessenen) Spitzen ein und stelle die  $2\mu$ m-Messuhr an. Vorsichtig wird sie genullt (was gar nicht so einfach ist, selbst bei dem guten Fisso-Stativ).

Dann fahre ich mit dem Schlitten nach rechts- zumindest so weit, wie ich komme, bevor ich mit dem Sattel an den Reitstock anstoße. Bei mir ist das in einer Entfernung von etwa 14cm der Fall. Dort zeigt die Messuhr  $+17\mu m$  an. Rechnen wir diesen Messwert auf 20cm hoch (einfacher Dreisatz), kommen wir auf eine Reitstockhöhe gegenüber Drehachse auf ca.  $+24\mu m!$ 

Und das ist gut, denn einen Reitstock herunterzuschaben, ist kein Problem. Nur einen Reitstock HÖHER zu machen, wäre lästig (Gleitbeläge aufkleben).

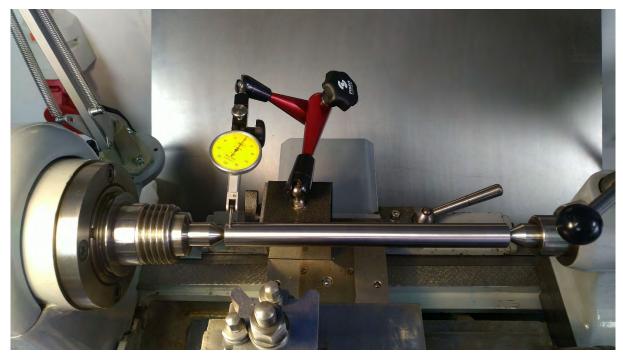


Abbildung 144: Reitstockhöhe messen: zwischen den gemessenen (!) Spitzen eingespannter Präzisions(!)-Prüfstab

### 39.2 Höhe Variante 2

Es gibt noch weitere Möglichkeiten, den so ermittelten Messwert zu bestätigen und ich würde das auch immer machen, bevor ich mit dem Schaber irgendwo Material unwiederbringlich wegkratze.

Aus zwei MK2/B16 Dornen habe ich mir die Flächen auf den gleichen Durchmesser abgedreht. Mangels meiner Fähigkeiten beim Drehen und Läppen ist mir das leider nur auf etwa 25µm unterschiedlichen Durchmesser gelungen, wie meine Messuhr mir beweist.

Egal, ich lege die beiden Prüfdorne in Spindel und Reitstock und stelle sie direkt gegeneinander.





Abbildung 145: für eine anschließende Fehlerkorrektur die Durchmesser beider Prüfstäbe messen

Damit sie sich treffen, muss ich leider die Pinole etwas ausfahren (damit bringe ich leider unweigerlich noch den Neigungsfehler mit in die Prüfung, aber den rechne ich gleich wieder heraus).





Abbildung 146: links die Messuhr nullen, dann nach rechts fahren und ablesen: etwa +59µm

Wenn ich vom linken auf den rechten Prüfdorn herüberfahre, zeigt sie mir etwa +59µm an.

Nun überlegen wir:

Von den  $+59\mu m$  gehen schonmal ca.  $13\mu m$  ab (=die Hälfte des gemessenen Durchmesserfehlers). Somit landen wir bei  $+46\mu m$ .

Nun greife ich etwas vor. Durch das Abfahren der ausgefahrenen Pinole mit der Messuhr weiß ich, dass sie auf einer Länge von 90mm etwa +12µm ansteigt. In dieser Prüfung war die Pinole zu exakt 45mm ausgefahren; d.h. weitere +6µm gegen als Fehlerbeitrag hier mit ein.

Somit kommen wir mit dieser Messmethode auf +40µm.

### 39.3 Höhe Variante 3

Und nochwas können wir machen, insbesondere wenn wir keinen MK2-Adapter besitzen.



Abbildung 147: Prüfstab in 180er-Spannzange

Wir spannen den Präzisions-Prüfstab in die 363E Spannzange ein und setzen rechts eine ausgemessene MK2-Spitze in den Reitstock.

Durch das Abfahren mit der Messuhr kann man nun erkennen, wohin sich der Prüfstab bewegt, wenn man die Reitstockspitze in die Zentrierungsbohrung schiebt oder wieder herauskurbelt. Im Idealfall (=Prüfstab komplett parallel zum Bett und auch Reitstock komplett auf Drehachse) ändert sich nichts, wenn ich die Reitstockspitze in die Zentrierungsbohrung drücke.

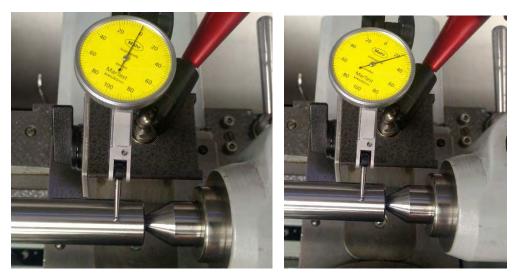


Abbildung 148: Messuhr Werteänderung "fliegend" / "nicht fliegend"

In der Realität hat man in knapp 20cm von der Spindel selbst mit dem besten Prüfdorn und der besten Spannzange eine Unrundheit. In meinem Fall sind dies +/-10µm, während ich die Spindel langsam von Hand weiterdrehe. Ich finde das für eine fast 60Jahre alte Drehmaschine mit noch älterem MK2-Adapter und uralter 180er Spannzange absolut verblüffend!

Ich drehe den Dorn in eine Position, in der die Messuhr genau zwischen den beiden Extrempositionen zeigt und stelle sie auf 0. Dann kurbele ich die Reitstock-Spitze in die Zentrierbohrung des Prüfstabs und beobachte die Veränderungen auf der Messuhr.

Was passiert?

Der Prüfstab hebt sich - und zwar um  $+22\mu m$ .

Man kann es kaum glauben, aber diesen winzigen Unterschied kann man sogar sehen. Der Prüfstab biegt sich gaaaaaanz leicht nach oben, wenn die Reitstockspitze ihn aufpiekst.

Ich markiere die Position der MK2-Spitze und drehe sie um 180° weiter. Dann wiederhole ich den Test. Ergebnis: diesmal +26μm.

Diese  $4\mu m$  Unterschied sind jetzt vermutlich der Beitrag der ebenfalls leicht unrund geschliffenen MK2-Spitze und/oder der ihres MK2-Konus. Oder der an der Pinole des Maschine. Wir werden es bei  $4\mu m$  nicht herausfinden und einfach akzeptieren.

## 39.4 Höhe Variante 4

Eine sehr einfache Methode ist die mit der Rasierklinge.

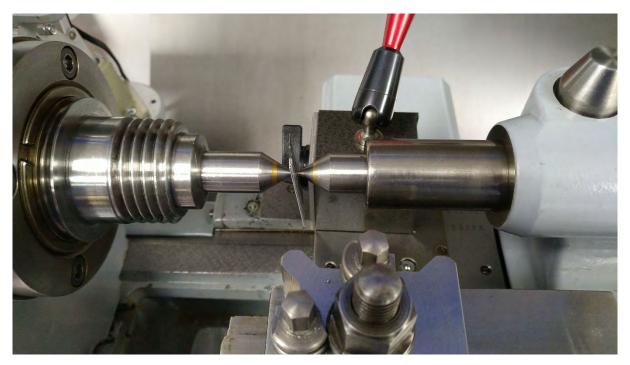


Abbildung 149: Rasierklingentest

Man kann da aber leider keine Messwerte ablesen, sondern nur abschätzen, ob die Reitstockachse höher oder niedriger ist als die Drehachse. Im Idealfall steht die Rasierklinge genau senkrecht. Das ist ein Indikator dafür, dass Drehachse und Reitstockachse sehr nahe beieinander liegen.

In unserem Fall zeigt auch dieser Test, dass der Reitstock zwar in Y richtig eingestellt ist, aber in der Höhe zu hoch zu sein scheint.

Wir müssen auch hier wieder bedenken, dass -um die Spitzen gegeneinander fahren zu können- wir die Pinole etwas herauskurbeln müssen und uns damit auch wieder ein Stück Neigungsfehler mitmessen.

### 39.5 Höhe: Zusammenfassung

Wir haben nun vier Verfahren und drei verschiedene Messwerte, welcher ist denn nun richtig? Das ist echt schwer zu sagen. Zumindest mit den uns zur Verfügung stehenden Mitteln. Grundsätzlich muss uns bewusst sein, dass jede Adapterhülse und jeder MK2-Konus, den man mit in die Messung gibt, eigene Fehlerbeiträge in die Messung einbringen.

So sehe ich beispielsweise auch, dass selbst meine ausgesuchten und mit 0,005 mm Rundlauf garantierten Röhm MK2-Spitzen in der Leinen-Spannzange um  $+/-10 \mu m$  wandern, wenn man die Messuhr auf die Spitze richtet und die Maschine ganz langsam laufen lässt. Manchmal habe ich mit derselben Spannzange und derselben Spitze aber auch schon nur  $+/-2 \mu m$  ablesen können. Alleine das zeigt einem schon, wie viel Messunsicherheiten wir hier mit an Bord haben und jedes Staubkörnchen hat hier schon Einfluss.

Wir fassen also einmal die Messwerte zusammen, die wir mit den verschiedenen Prüfmethoden ermittelt haben:

Variante 1: +24µm Variante 2: +40µm

Variante 3: +24µm (Mittelwert aus 22µm und 26µm)

Wie bewerten wir das also?

Variante 1 haben wir mit einem gekauften Präzisions-Prüfstab durchgeführt und nachweislich relativ rund laufenden Spitzen. Eine Unsicherheit ist mit Sicherheit der 363E-auf-MK2-Adapter, der aber bei der Messung der Unrundheit der MK2-Spitzen bereits mit erfasst ist. Ich halte das Ergebnis daher für einigermaßen glaubhaft.

Variante 3 mit der fliegenden Prüfstabmessung halte ich ebenfalls für ziemlich verlässlich, weil ich vom Prüfstab durch Messungen mit der Messuhr weiß, dass er extrem sauber und rund geschliffen wurde.

**Variante 2** mit meinen selbstgemachten Prüfdornen halte ich für die unzuverlässigste Variante- aber auch nur, weil ich selber die notwendige Präzision bei der Herstellung nicht geschafft habe. Daher würde ich im Moment eher Variante 1 und 3 Glauben schenken.

In dem guten Glauben, dass der Offset nur etwa mehr als 20µm ist, mache ich nun eine Messung der Neigung der Pinole.

## 40 Neigung des Reitstocks

Den kann man am besten messen, wenn man die Pinole ausfährt und seine Oberfläche mit der Messuhr abfährt. Laut Schlesinger darf die Pinole höchstens zur Spitze hin etwas steigen (10µm). Bei mir tut sie das auf genau 12µm. Vielleicht nicht perfekt, aber gerade so kurz über dem Limit. Ich würde es bald so belassen, wenn da in den nächsten Kapiteln nicht noch größere Brocken auf mich zukämen ©

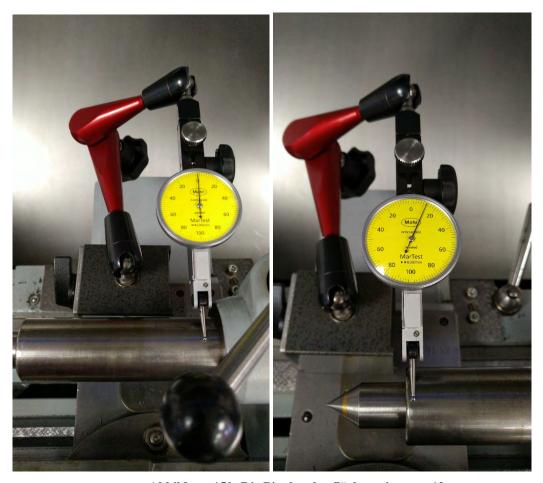


Abbildung 150: Die Pinolenoberfläche steigt gute 12µm an

Die Messung eines Seitenschlags prüft man übrigens nicht, denn den kann man ja durch die Reitstockverstellung jederzeit ausgleichen. Und da kommen wir jetzt zum nächsten, <u>echten</u> Problem!

## 41 Schiefe Ebene

Fragt mich nicht, weshalb ich darauf gekommen bin. Aber ich habe tatsächlich mal nachgemessen, ob der Reitstock in derselben Höhe bleibt, wenn man ihn seitlich verstellt. Und das, was ich da gemessen hatte, lässt mich einen tiefen Seufzer der Enttäuschung ausstoßen.

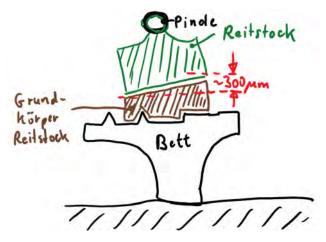


Abbildung 151: Blick von hinten auf die Maschine: der Grundkörper des Reitstocks ist schief, daher ändert man beim Verstellen des Reitstocks auch ungewollt immer etwas seine Höhe!

Also schraubte ich den Reitstock auseinander und legte die reine Basisplatte auf das Maschinenbett. Nun zahlt es sich aus, dass ich damals alles eben und parallel zueinander geschabt habe, denn so kann ich das Bett auch als Referenzebene für meine Messuhr benutzen. Und was kommt heraus? Die Basis des Reitstocks ist komplett schief! Ihr Oberfläche steigt über die wenigen Zentimeter Querfläche über 300µm an!



Abbildung 152: die Reitstockbasis steigt entlang der V-Nut um 320µm an!

Und das sowohl mit einem 10mm Röllchen in der V-Nut gemessen als auch auf der Flachfläche rechts daneben.



Abbildung 153: dasselbe Problem auch hier: ebenfalls etwa 320µm Anstieg von der Maschinenfront zur Rückseite hin

Sogar der Grund der V-Führung, der mit Sicherheit nie von irgendwem nachbearbeitet worden ist, steigt in genau demselben Maße:



Abbildung 154: auch der Grund der V-Nut wird gemessen (eigentlich keine Referenzfläche)

Das kann jetzt kein Zufall mehr sein. Alle drei Flächen sind mehr oder weniger zueinander parallel und steigen gleichmäßig an. Das heißt: der Grund muss schief sein!



Abbildung 155: ebenfalls knapp 300µm Anstieg!

Das folgende Bild hilft vielleicht noch einmal beim Verständnis.

Die Bodenplatte des Reitstocks liegt auf dem Maschinenbett, das zugleich unsere Referenz ist. Rechts hat die Bodenplatte eine Flachführung, hier rechts mit "Flatway" beschriftet.

Die Messung der V-Nut erfolgte mit einem eingelegten Röllchen. Hier in orange mit "Flanken der V-Nut" beschriftet.

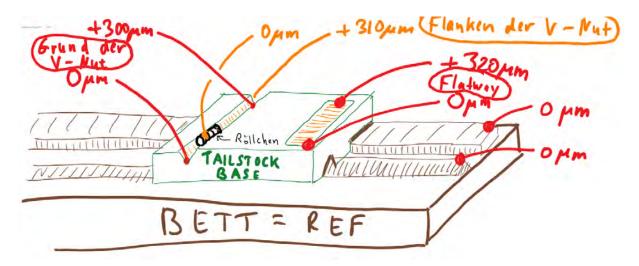


Abbildung 156: drei Messungen wurden durchgeführt

Keine Referenzfläche, aber dennoch sehr informativ: Messung des Grunds der V-Nut, hier links in rot zu sehen.

Interessant: alle drei Messungen ergeben etwa +300µm Anstieg.

## 42 Schaben des Reitstocks- Vorarbeiten

Und so ist es vermutlich auch. Schon wieder sehe ich hässliche Spuren von Schleifwerkzeugen, die mich erneut das Schlimmste befürchten lassen. Nicht nur an der Reitstock-Basisplatte, sondern auch an der Reitstock-Unterseite.

Es gibt wieder Arbeit!



Abbildung 157: auch hier wieder Spuren von unsachgemäßer Oberflächenbearbeitung



Abbildung 158: Seufz...

Die Entscheidung steht fest: ich muss die Bodenplatte um die 300µm kippen, damit seine Flächen auch parallel zum Bett werden. Also schmiere ich die blaue Canode-Farbe mit einem selbstgebastelten Sperrholz-Vileda-Tupfer auf Flach- und V-Führung und tuschiere die Bodenplatte.

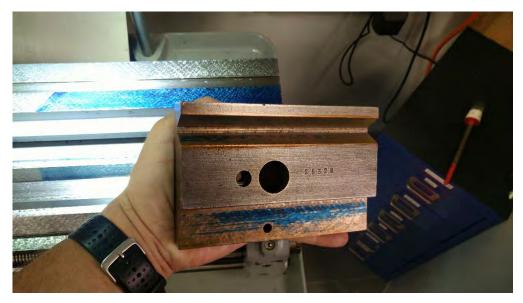


Abbildung 159: die Bodenplatte muss um 300µm gekippt werden- das sind etwa 30 Schabedurchgänge

Mit Tuschieren und regelmäßigem Nachmessen per Messuhr stelle ich sicher, dass ich noch immer zielsicher auf Kurs bin.

Irgendwann ist es dann soweit: die Bodenplatte ist nahezu parallel zum Bett!

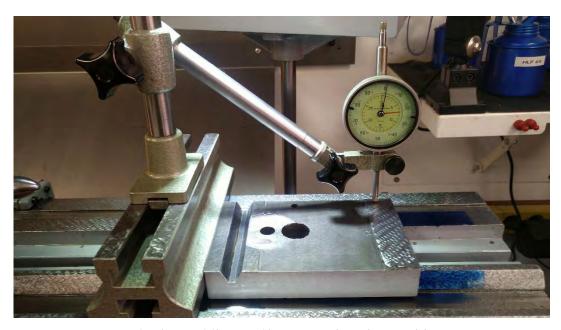


Abbildung 160: noch 10µm, dann sind wird soweit!

Und dann stelle ich noch was fest:

Die Flächen, auf die ich die ganze Zeit referenziert hatte, waren aufgeklebte Stahlbleche! Ach du je, war mein Schaben jetzt komplett für 'n Ar....??



Abbildung 161: die Bodenplatte hatte aufgeklebte Bleche auf Flach- und V-Führung!

Nein, war es nicht. Glücklicherweise waren sie komplett parallel zur Oberfläche geklebt. Die Grundplatte war vorher eindeutig schief- mit Blechen als auch ohne. Glück gehabt- denn sonst wären meine Schabebemühungen vielleicht vergebens gewesen.

#### Und nun wie weiter?

Erstmal mit dem ganzen Kram wieder auf das Drehmaschinenbett und die Höhenlage messen. Ergebnis: mehr als einen halben Millimeter Tiefstand des Reitstocks gegenüber der Drehachse des Spindelstocks. Das bedeutet: ähnlich wie mein Vorgänger, muss ich Shims in die Reitstockführungen einkleben, um Höhe zu gewinnen. Nur- diesmal bitte mit der korrekten Geometrie!

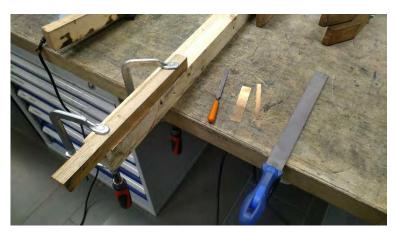


Abbildung 162: Bronzeblech zwischen Holzlatten einklemmen und dann absägen und feilen

Ich forsche also ein bisschen im Internet, was man da so nimmt. Man könnte Turcite nehmen, Rulon, Hasbergfolie oder auch andere Materialien, die es als Gleitbelag für Werkzeugmaschinen gibt. Das Problem ist: wo kriege ich sie zu kaufen (auch in Mindermengen), wie appliziere ich sie, mit welchem Kleber, usw...

Jan Sverre Haugjord rät mir von Turcite ab, denn es sei eigentlich eher für bewegte Flächen gedacht. Bei einem Reitstock, der vielleicht nur alle Jubeljahre mal verstellt wird, um einen Kegel aus der Achse zu drehen, ist der Anwendungsfall aber deutlich eher an "static fit".

Ich probiere das Aufkleben von Hasbergfolie mit Loctite 648 auf ein altes Stück Grauguss. Ergebnis: absoluter Fehlschlag. Das Probeteil fällt schon beim geringsten Hinterhaken mit dem Spachtel wieder ab.



Abbildung 163: gescheiterter Klebeversuch: Hasbergfolie auf Grauguss

Dann finde ich einen Artikel in der Zerspanungsbude.net über die Restauration eines Oberschlittens. Zerspanungsidol Stefan Gotteswinter klebt CuSn6-Federbronzestreifen mit Wekem WK2400 Kleber auf eine Grauguss-Keilleiste. Und das haben wir begriffen- wenn GTWR was macht, hat es meistens Hand und Fuß.

Also bestelle ich mir ein paar Streifen Federbronzeblech in unterschiedlichen Dicken, säge es zurecht, kratze die Unterseite mit einem Siliziumkarbid-Bankstein etwas rau an, reinige alles mit Spiritus und klebe die Streifen auf die zu erhöhenden Führungen. Leider vergesse ich, mir vorher einige Referenzpunkte einzumessen, anhand derer ich später die absolute Höhe des Spindelstocks gegenmessen kann. Daher wird das anschließende Schaben und Abtragen ein wenig Glücksspiel, ob die aufgeklebten Bronzesteifen am Ende nicht doch zu dünn waren.



Abbildung 164: Aufkleben von CuSn6-Streifen mit WK2400

Anschließend drücke ich die Stelle mit einer Holzleiste und Schraubzwingen über Nacht ordentlich zusammen.



Abbildung 165: Klebestelle drücken

Für das Anpressen der V-Führung muss ich mir etwas mehr einfallen lassen. Heraus kommt ein Stückchen Flachstahl, beklebt mit doppelseitigem Teppichklebeband (die Oberfläche ist anti-haftend), das ich mittels Rundstäben im Schraubstock zusammenpresse. Am besten kann man das wohl nur in einem Bild sehen.



Abbildung 166: Pressen des CuSn6-Streifens in die V-Nut

Bei der zweiten Seite wird es noch verrückter. Hier ist mein Schraubstock nicht tief genug, sondern hier muss ich mit Gewichten von oben draufdrücken. Ich benutze meine kleine Granitplatte, eine Stahl-Anreißplatte und zwei Fräswinkel als Gewicht.



Abbildung 167: etwas "urige" Klebetechnik- aber es hat funktioniert!

Am Ende zählt jedoch das Ergebnis und damit bin ich wirklich zufrieden:

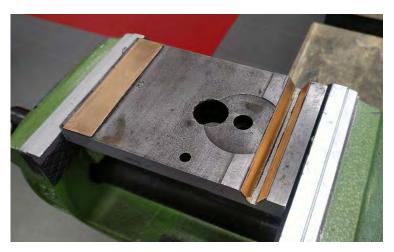


Abbildung 168: die Reitstock-Bodenplatte mit neu aufgeklebten Flächen aus Bronzeblech

Das hätten wir soweit. Nun wird es spannend, denn jetzt müssen wir diese neu aufgeklebten Flächen natürlich auch einschaben. Weil wir wissen, dass die Bodenplatte inzwischen geometrisch korrekt ist (d.h. seine Oberflächen parallel und eben zum Maschinenbett sind), geht es jetzt darum, das Reitstock-Oberteil (mit Pinole) korrekt einzuschaben. Und zwar so, dass sowohl die Neigung der Pinole stimmt (möglichst maximal +10µm auf 9cm Länge) als auch die Höhe der Drehachse.

Das wird jetzt etwas kniffelig.

Die Höhe der Drehachse können wir uns so vorstellen:

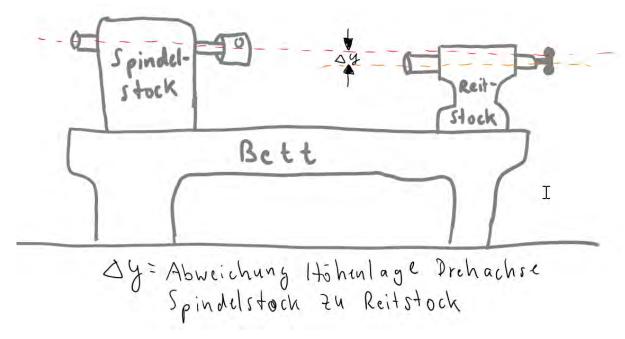


Abbildung 169: Schematische Darstellung der Abweichung der Höhenlage

Der Spindelstock mit seiner Spindel gibt die Drehachse vor. Die ist, wie wir aus den vorherigen Kapiteln wissen, prima parallel zum Bett. Mit dieser Voraussetzung müssen wir nun erreichen, dass aus der Reitstock auf genau dieser Drehachse seinen Mittelpunkt hat. Genauer: dass der Verfahrweg der Pinole genau auf der Drehachse liegt!

# 43 Reitstockgeometrie einschaben

Nun haben wir folgenden Stand:

- 1. Die Maschinengeometrie von Bett und Spindelstock ist ok. Die Haupt-Voraussetzung für alles.
- 2. Die Bodenplatte des Reitstocks ist nun ebenfalls parallel zum Bett.
- 3. Die aufgeklebten Bronzebleche habe ich inzwischen alle so geschabt, dass sie eben sind und beim Nachmessen mit der Messuhr auch parallel zum Maschinenbett verlaufen.

Was ich noch NICHT gemacht habe, ist das Einpassen des Reitstock-Oberteils (mit seiner Pinole) auf die Bodenplatte. Das kommt jetzt.

Damit das gelingt, müssen wir das in zwei Schritten machen:

- a) erst die Neigung der Pinole auf 0 bringen (d.h. max. +10µm auf 9cm Pinolenlänge)
- b) Danach bringen wir den gesamten Reitstock in seinem Offset

und die uns so erfolgreich verwirren, dass selbst wir als Technikversteher die einfachsten Zusammenhänge nicht mehr kapieren und uns unsere simple Heizung als "mystisches Zauberwesen" vorkommt.

Das mal als kleiner Seitenhieb gegen den aktuell überall sichtbaren Trend, technische Zusammenhänge beinahe "krampfhaft" stets so zu vereinfachen (=verschweigen!), dass man auch den dümmsten Benutzer unter der Sonne nicht als Kunden verliert.

### Ganz ehrlich?

Wenn ihr zu doof für einen Computer seid und deshalb keinen bedienen könnt, dann könnt ihr euch auch keinen kaufen! Das ist ja auch gar nicht schlimm- alle Menschen haben ihre Fähigkeiten irgendwo anders und genau diese Unterschiede bereichern uns ja auch.

Ich selber beispielsweise bin auch zu doof dazu, einen A380 zu fliegen und darf mich deswegen nicht diskriminiert fühlen. Es kann eben jeder nicht alles können. Aber darf das dazu führen, dass ein A380 im Cockpit nun so "vereinfacht" werden muss, dass nun nur noch Laienwie ich im "Auto-Modus", aber keine erfahrene Piloten mehr den Jet im "manuellen Modus" mehr fliegen können? Sicher nicht! Warum dann aber bei Computern?

Es ist wirklich frustrierend. Bleiben wir lieber bei Drehmaschinen.

Die Mission ist einfach: wir schaben die Neigung der Pinole so lange herunter, bis sie beim Abfahren mit der Messuhr über ihre gesamte Länge (9cm) auf etwa  $0\mu$ m bleibt (max.  $+10\mu$ m nach Schlesinger).

Ist das erreicht, so hoffen wir, dass der Reitstock in der nun folgenden Messung mit dem Prüfstab noch ÜBER der Drehachse liegt. Wäre er dann schon drunter, bedeutet dies, dass meine Bronzebleche zu dünn waren und ich dickere einkleben muss. Dass dann auch die ganze Schaberei der Bronzebleche für die Katz war- selbstredend.

Also drücken wir die Daumen.

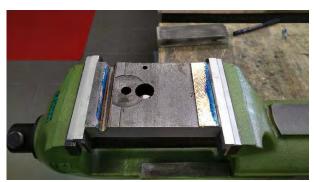




Abbildung 170: das Bronzeblech wird eingeschabt



Abbildung 171: ein eingespannter, 2. Schraubstock und untergelegter Holzklotz (hier nicht sichtbar) bringt die Reitstock-Basis in eine angenehme Schabe-Position

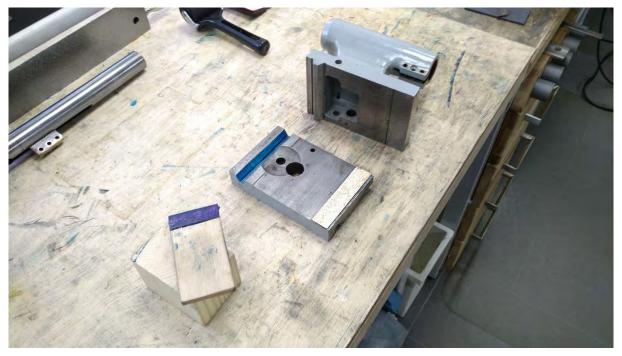


Abbildung 172: (vlnr) Sperrholzplättchen mit aufgeklebtem Vileda-Pad, Reitstockbasisplatte, Reitstock

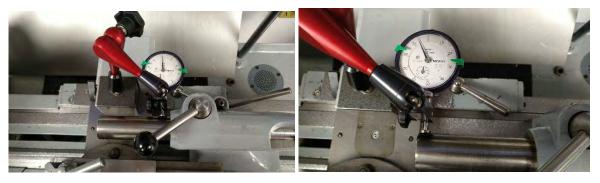


Abbildung 173: Abfahren der Pinole: sie reckt sich etwa 70µm dem Bediener entgegen





Abbildung 174:dieselbe Messung in die Höhe: auch hier hebt sich die Pinole um knappe 70µm



Abbildung 175: Korrektur: hier soll geschabt werden (schwarz angemalt)

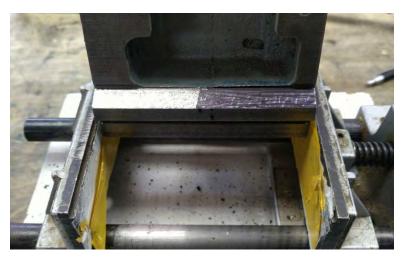


Abbildung 176: dasselbe auf der Gegenseite (hier eingespannt im Schraubstock)





Abbildung 177: danach nur noch 30µm (Seite) und 40µm (Höhe)



Abbildung 178: danach wieder eine Runde Anpassungs-Schaben (zur Reitstock-Basis)



Abbildung 179: Kombi-Messung mit gleichzeitiger Messuhr für Seite und Höhe



Abbildung 180: wir haben bislang ca.  $+30\mu m$  (Höhe) und  $+20\mu m$  (Seite) erreicht



Abbildung 181: die Gesamthöhe ist derzeit noch  $+60\mu m$  auf 10cm (also etwa  $+120\mu m$  auf Gesamtlänge hochgerechnet)





Abbildung 182:die Neigung in der Höhe ist jetzt bereits exzellent ausgeschabt!!



Abbildung 183: nur die Seitenneigung könnte noch etwas verbessert werden (aktuell  $+25\mu m$ )

## 44 Reitstock Abschluss

Ich möchte nun etwas vorspulen, denn es bringt nichts, Euch nun mit seitenweise Bilder von Messuhren zu nerven, die irgendetwas anzeigen. Ich denke, das Grundprinzip, wie ich meinen Reitstock eingeschabt habe, dürfte klar sein: ich bringe die Neigung sowohl in X als auch in Y möglichst auf Null (oder  $+10\mu m$ ), dann korrigiere ich den Offset ebenfalls auf Null (oder  $+10\mu m$ ).

Das Schwierige ist dabei natürlich, dass man an einer V-Führung schabt, die immer gleich in zwei Dimensionen wirkt; will man sie also nach rechts drehen, kippt sie dort ebenfalls gleich nach unten, was man dann mit dem Nachschaben der hinteren Flachführungsfläche ausglei-

in Abbildung 169 einmal auf Null ist, gibt es dort kein "Fleisch" mehr, um noch irgendwas an Neigung zu kompensieren. Das muss man stets im Auge behalten und seine Aktionen wohl überlegt angehen!

Am Ende ist auch genau das für mich ein kleines Hemmnis, weshalb ich die finale Einmessung nach Selbsteinschätzung nur mit einer Note "3..4" abschließe. Der Reitstock guckt mich mit ausgezogener Pinole etwa mit  $+20\mu m$  an, und er fällt leider auch etwa  $15\mu m$  ab. Beides wäre nach Schlesinger nicht mehr im Limit!

Und beim Abfahren eines zwischen den Spitzen gespannten Präzisionsprüfdorns habe ich auf

Also immerhin die Möglichkeit, dass man hier noch Nacharbeiten müsste/könnte! Das ist die gute Nachricht. Trotzdem: ich traue mich nicht! Zu groß die Furcht, jetzt am Ende noch eher was zu versauen als zu verbessern. Das mag auch damit zusammenhängen, dass ich auf einmal eine Messung hatte, bei der der Prüfdorn nach einem Schabedurchgang plötzlich ganz

ein Messfehler, vielleicht der Einfluss des Öls, vielleicht was ganz anderes?

Ich weiß es aktuell nicht- und bis ich mir nicht wirklich sicher bin, höre ich hier erstmal auf und arbeite mit der Maschine so, wie sie ist. Denn: Nachschaben geht immer; Dranfeilen nicht!

;-)

Außerdem will ich e n d l i c h mal fertig werden!

## 45 die letzte Katastrophe

Ich wünsche mir endlich Licht am Ende des Tunnels. Doch eine letzte Kurve gibt es noch, bevor der Tunnelausgang sichtbar wird: der Herr (oder die Dame) mit dem Bandschleifer hat leider auch am Obersupport ganze Arbeit geleistet.

Seufz.



Abbildung 184: der Obersupport im Originalzustand

Wenn man das gesamte Teil erstmal von der Maschine herunternimmt, fällt einem eigentlich noch gar nicht viel ins Auge. Der Schlitten lässt sich erstaunlich gleichmäßig von Anfang bis Ende durchkurbeln und beim Drücken mit der Hand stellt man kein merkliches Spiel fest. Okay, das Schabemuster auf den Gleichflächen sieht nicht mehr taufrisch aus, aber nach einem kleinen Touchup mit dem Tuschierlineal sollte das doch innerhalb eines Nachmittags alles wieder aufzufrischen sein. Oder?

Nein?



Abbildung 185: der erste Gesamteindruck ist noch nichtmal so schlecht

Natürlich wird das Teil zerlegt und allem Auffälligen auf den Grund gegangen.

Zuerst den Kegelstift an der Kurbel. Kleiner Trick: ein Holzstück mit einem Loch genau drunterlegen, damit die Wucht der Hammerschläge vom Unterbau abgeleitet werden können und nicht die Spindel verbiegen (wie es beim Plansupport jemand geschafft hat)....





Abbildung 186: Kegelstift austreiben

Danach kann man die beiden Nutmuttern lösen und den Skalenring mit Passfeder abnehmen. Mit einem 6Kant löst man die beiden Schrauben...



Abbildung 187: weitere Demontage

...und kann schließlich die Spindel herausziehen.



Abbildung 188: Spindel abnehmen

Um den Skalenring mit seiner verstellbaren Skala zu säubern (Ultraschall), genügen ein paar Hammerschläge zu Trennen.



Abbildung 189: Skalenring demontieren

Während der Kleinkram im Ultraschallbad gereinigt wird, kümmern wir uns um die weitere Zerlegung. Zuerst die Schrauben für die Druckleiste....



Abbildung 190: Druckschrauben entfernen

...danach kann man den Oberschlitten gut vom Unterteil trennen.



Abbildung 191: Druckleiste- auch die werden wir später richten und einschaben

Die Spindelmutter ist mit zwei Schlitzschrauben befestigt.





Abbildung 192: Ausbau der Spindelmutter

So. Nun haben wir den Ausbau fertig. So sieht das Oberteil aus.



Abbildung 193: Oberteil - von oben



Abbildung 194: Oberteil- von unten

# 46 Messung des Oberschlittens

Wir kümmern uns zuerst um das Unterteil des Oberschlittens. Leider hat seine Unterseite in der Mitte einen Zentrierungskragen (Pfeil), weshalb man das Bauteil nicht direkt auf die Granitplatte stellen und tuschieren/messen kann.

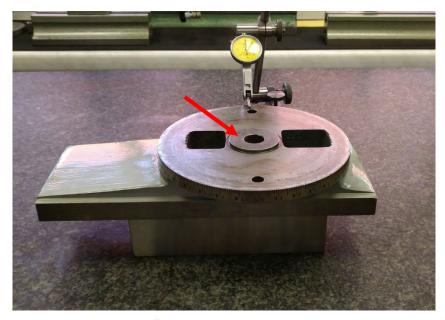


Abbildung 195: Überprüfung der Unterseite auf Ebenheit

Ich beschließe daher, den umgekehrten Weg zu gehen. Ich stelle die Flachführungen auf ein Paar Präzisions-Fräsunterlagen und messe die Fläche von oben mit dem Messtaster. Heraus kommt folgendes Bild:



Abbildung 196: Messung auf Ebenheit, Angaben alle in  $[\mu m]$ 

Aha, das ist schonmal interessant, bringt mich aber nicht wirklich weiter, wie ich nach etwas Nachdenken feststelle. Ich werde meinem Standardvorgehen treu bleiben und mich von unten nach oben vorarbeiten. Motto: "wenn der Grund schon nicht stimmt, ist es müßig, die Oberseite zu bearbeiten". Also fangen wir von unten an.

"Unten" bedeuten die Kontaktfläche zum Bettschlitten. Und die ist tatsächlich parallel zum Bett, und hat aus meiner Sicht auch vernünftig Traganteil.



Abbildung 197: Oberfläche des Bettschlittens ist parallel zum Bett! Gut!



Abbildung 198: das Tuschierbild sieht für mich auch gut aus- die Basis stimmt also!

Damit weiß ich nun, dass ich den Bettschlitten mit seiner Kontaktfläche als Tuschiermaster benutzen kann und ich mir nicht extra ein rundes Tuschierlineal mit 40mm Innenloch schaben muss, nur um damit den Oberschlitten einpassen zu können.

Beim Arbeiten am Sattel erwies es sich manchmal als recht nützlich, die Oberseite des Schwalbenschwanzes, die eigentlich keine Referenzfläche ist, trotzdem zu einer zu machen. Gerade wenn man ein Unterteil hat, das man nicht mit dem Rücken direkt auf eine Messplatte legen kann (=> wegen des Kragens in der Mitte!), so könnte man es aber auf den Bauch legen und dann invers messen. Vorausgesetzt, diese Seite ist aber eben geschabt. Also machen wir das jetzt.

Der erste Abdruck nach der Strukturierung ist grauenvoll.



Abbildung 199: erstes Tuschierbild

Etliche Durchgänge später wird das Ding schon einigermaßen gerade, aber es zeigt mir noch immer zu viele Löcher!



Abbildung 200: es beginnt zu tragen, aber offenbart auch viele Low Areas!

Ich will mal etwas genauer wissen, woran ich bin und lege ein kleines Haarlineal über die Fläche.



Abbildung 201: Prüfung mit Haarlineal

Au backe! Aber es wird noch schlimmer!



Abbildung 202: Seufz....

Am Ende der Führung kann man fast eine Mütze zwischen Lineal und Führungsbahn hindurchwerfen wie durch einen frisch geschnittenen Kirschbaum. Die Fläche kippt hier so stark ab, dass ich mir noch nicht einmal die Mühe mache, meine Fühlerlehre aus dem Magazinschrank zu holen. Wir reden da von mindestens einem ganzen Millimeter- völlig aussichtslos, das noch mit Schaben "holen" zu wollen. Außerdem: da wird mir dann auch irgendwann das gesamte Material am SSW zu dünn, wenn ich hier jetzt millimeterweise Metall abtrage.

Nein, das mach ich nicht. Ich lasse die Fläche so, wie ich sie bislang geschabt habe. Sie hat zwar diese Millimeter tiefen Low Areas, aber liegt sonst eigentlich ganz gut und kippelfrei auf. Ich kann sie daher -trotz Löcher- dennoch zum Messen verwenden.

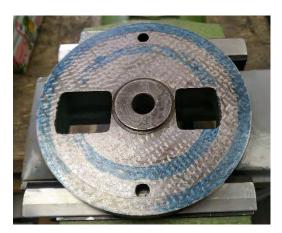
## 47 Die Unterseite

Ich beginne also ein zweites mal- jetzt mit der Unterseite. Mit Tuschierlineal und meinem Sattel als "Master" schabe ich die Fläche eben. Die geometrische Lage ist mir dabei erstmal "egal". Ziel ist es, diese Fläche eben und plan zu machen und dann später alle anderen Flächen zu dieser hier parallel zu machen.



Abbildung 203: erste Strukturierung

Dabei wechsele ich mich mit Tuschierlineal und dem Sattel als Master (Abbildung 198) ab. Die "Sattelkontrolle" bestätigt mich, dass ich die gute Kontaktfläche nicht verliere und das Tuschierlineal überbrückt die Flächen dazwischen.



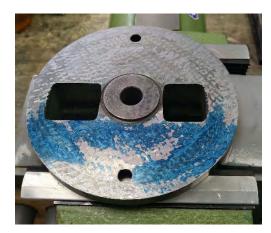


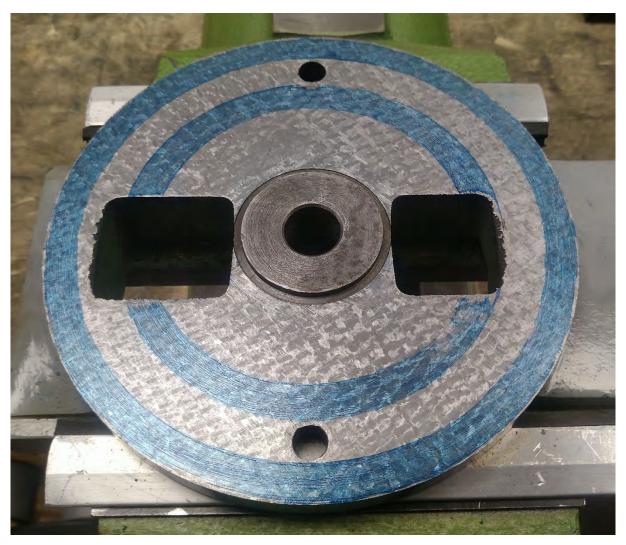
Abbildung 204: links: Tuschieren am Sattel; rechts: Tuschieren mit Lineal

Das klappt erstaunlich gut! Mit einem Haarlineal und Fühlerblattlehre identifiziere ich die Tiefe von "Löchern".



Abbildung 205: Tälertiefe messen

Am Ende ist die Unterseite schön plan, hat keine großen Löcher mehr, und -wenn man genug satt die Tuschierfarbe draufdonnert ;-) - sieht das Kontaktbild zum Master auch gut aus.



**Abbildung 206: Endergebnis** 

Ja ja ja, natürlich habe ich diesen Abdruck auch noch mit weniger Tuschierfarbe nochmal gemacht. Alles gut :-)

# 48 Oberschlitten- Flachführungen

Sobald die Unterseite geschafft ist, kümmere ich mich um die Flachführungen. Zu Beginn sieht die so aus:



Abbildung 207: Flachführung zu Beginn

Nach einigen Schabedurchgängen beginnt sich, die Fläche zu glätten.

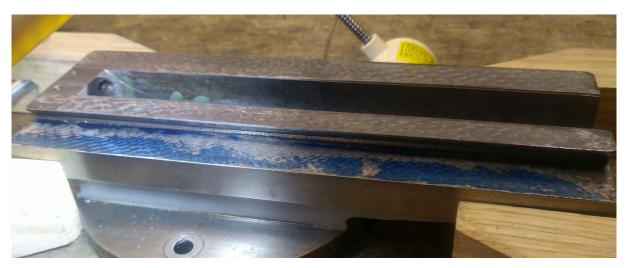


Abbildung 208: es wird...

Aber es ist noch viel Roughing zu machen. Weil ich es so oft schon gezeigt habe und ich gerade auf Seite 133 bin, verzichte ich mal darauf, das nochmal abzudrucken.

Interessant ist vielleicht eher, wie ich die Geometrie erfasse. Dabei hilft mir nun die eben geschabte Unterseite!



Abbildung 209: Messaufbau Oberschlitten

Zwei aufgestellte Präzisions-Fräsunterlagen transferieren mir die Referenzebene meiner Granitplatte nach oben. Dort lege ich meinen Oberschlitten drauf und achte darauf, dass alles wirklich satt und kippelfrei aufliegt (das tut es!).

Nun fahre ich mit dem Messtaster und meinem Unterlegstückenen zum Überbrücken der Schabetäler die Höhe der Flachführungen ab. Ziel ist es, alles parallel zu kriegen.\*



Abbildung 210: die Einspannung mit zwei Fräswinkeln hat sich super bewährt

\*Hierbei vernachlässige ich sträflich, mich an der Lage der Spindel zu richten, denn nur DIE ist es, die die spätere Bewegungsrichtung vorgibt und nach der sich alles richten muss! Wir werden später darauf zurückkommen!

# 49 "Ästhetisches Schaben"

Tja, was soll das nun wieder sein?

Richard King würde mich dafür wahrscheinlich erschlagen, aber ich habe mich von Schabemeister Jan Sverre Haugjord irgendwie davon anstecken lassen, auch Flächen, die \*nicht\* zwangsläufig geometrisch parallel zu anderen sein müssen, trotzdem sie als solche zu behandeln. Rein der Ästhetik wegen!

Bedeutet: für den Oberschlitten ist es völlig wurst, ob die beiden Flachführungen später zueinander wirklich zueinander in derselben Ebene verlaufen. Solange sie nicht gegeneinander verkippt sich, wird der Oberschlitten einwandfrei funktionieren, selbst wenn die eine Bahn 100µm höher läuft als die andere!

Das kostet natürlich Zusatzaufwand; soweit ich weiß, lernt man in Schabekursen normalerweise die "schnellste Methode"- und das hier steht in absolutem Widerspruch dazu! Ich mache mir hier einen Haufen Mehrarbeit, nur damit alles schön parallel und rechtwinklig zueinander ist. Aber das macht nichts: ich betrachte es als Zusatzübung. Und ihr glaubt nicht, wie happy ich am Ende bin, als ich wirklich alle vier Ecken der Flachführung auf unter 10µm zueinander auf die absolute Höhe (und zudem ebenso <10µm parallel zur Granitplatte) eingeschabt habe!

Und das Tollste: es gelingt mir inzwischen schon deutlich schneller als früher. Erfahrung und (viel viel!) Übung macht eben doch den Meister! :-)



Abbildung 211: diese Bahn liegt gegenüber der anderen im Moment noch 40µm zu hoch in der Ebene. Nach nur einer knappen Stunde Schaben wird sie zwischen 0..+5µm und zudem bei ca. 20ppi liegen!

### Hinweis:

Rückblickend muss ich sagen, dass sich das "ästhetische Schaben" in manchen Situationen dennoch bezahlt macht. Beispielsweise wenn man irgendeine Geometrie nachmessen muss, ist man hin und wieder über sauber geschabte und geometrisch korrekte "Nebenflächen" manchmal mehr als dankbar!

## 50 Oberschlitten: die Schwalbenschwänze

Nun, nachdem die Flachführung fertig ist, mache ich meine Messung mit dem Tellermikrometer. Zwei Enden von 6mm-Fräsern haben genau den richtigen Durchmesser, dass sie sauber und in etwa mittig an der Schrägfläche anliegen.

Die Messung zeigt, dass die Schräge in der Mitte bauchig ist. Und zwar misst das Mikrometer dort etwa  $60\mu m$  mehr als am Anfang. Zum Ende hin verjüngt es sich wieder etwas, aber nicht ganz so viel.

Eine bauchige Führungsfläche zwingt einen bei der Bearbeitung zur Vorsicht, denn es bedeutet: beim Tuschieren aufpassen, dass man nicht über die Mitte kippelt und somit insbesondere an den Enden falsche Tuschierbilder erzeugt. Am besten also erstmal in der Mitte beginnen und die Bauchigkeit wegschaben. Erst dann den Tuschierbildern mehr und mehr vertrauen.

Auch hier beziehe ich mich erneut auf frühere Kapitel. Es bleibt zu erwähnen, dass ich die meiste Arbeit mit einem Handschaber erledige, weil ich mit meinem Biax doch etwas Mühe habe, das Gerät präzise an die Stellen zu lenken, wo ich abtragen will- und ohne irgendwo sonst mit seiner Schabeklinge anzustoßen. Also Handschaber und eine sehr schmal geschliffene Klinge mit Radius von vielleicht 20mm oder sogar weniger! (Handschliff, kein definierter Radius) und mit gewissenhaft kontrolliertem Winkel in den Schwalbenschwanz schaben. Das gelingt nicht immer perfekt, aber bei so kleinen Schwalbenschwänzen ist es mir sowieso noch nie gelungen, hier noch saubere Checkerboard-Muster zu erzeugen. Wenn man nur drei Schabemarken nebeneinander bekommt, weil dann der SSW schon wieder zu Ende ist, geht es aber möglicherweise auch einem Profi nicht anders.

Wichtiger als "ob es 15ppi sind oder doch 20ppi" ist mir da jedoch erstmal die Verbesserung der Geometrie und die Tatsache, dass der Oberschlitten am Ende gleichmäßig und ohne Klemmen über die gesamte Führungsbahn gleitet. Selbst nur das zu erreichen, ist für mich gar nicht so einfach.

# 51 Lage der Spindelmutter im Oberschlitten

Als alles fertig geschabt ist und der Oberschlitten sich mit nahezu konstanter Kraft schön satt und gleichmäßig von Hand von vorne bis hinten nahezu spielfrei durchschieben lässt, wage ich den Zusammenbau.



Abbildung 212: schön sieht es ja schon aus- aber das alleine reicht nicht!

Es wird alles ordentlich eingeölt und einige Teile, bei denen ich Benutzungsspuren aus der Vergangenheit sehe (z.B. Riefen), glätte ich sogar vorher auf der Flachschleifmaschine (z.B. Skalenring), bis sie wirklich fast spiegeln. Das ist vielleicht nicht nötig, macht aber Spaß und erzeugt haufenweise Genugtuung, dass man seine mühsam aufgearbeiteten Maschinen in der Werkstatt auch sogar zielgerichtet und sinnhaft einsetzen kann.



Abbildung 213: Beseitigen der Spuren von 60 Jahren Benutzung!

Ohje! Dieses "Beseitigen" wird mich noch etwas Kopfzerbrechen kosten! Sehr ihr schon den Fehler? Dann schaut mal in Kapitel 55.2! Kleiner Tipp: Die Fläche muss orthogonal zur Mittel-Bohrung des Werkstücks sein; nicht zu seiner Rückseite! Meine Aufspannung ist Mist! Noch weiß ich das aber noch nicht, also lassen wir mich noch in dem Glauben.

Dann wollte ich schon fast die Sektflasche kaltstellen, denn der Oberschlitten war ja nun so ziemlich das letzte Thema an Wilma vor ihrer Fertigstellung. Dachte ich!



Abbildung 214: Prüfung des Seitenspiels mittels Messuhr

Wie es so kommen soll, war es das natürlich nicht. Erfahrene Maschinenrestaurateure ahnen wahrscheinlich schon, was ich bislang noch nicht berücksichtigt habe: genauso wie beim Querschlitten, muss ich auch beim Oberschlitten die Lage der Spindelmutter korrigieren! Deutlich zu merken daran, dass das Kurbeln des Oberschlittens immer schwergängiger wird, je näher sich Spindelmutter und Handkurbel kommen! Bis fast an den Endanschlag kriege ich den Oberschlitten nur mit Gewalt gekurbelt. Auch wenn ich diese Position wohl in der Praxis fast nie brauchen werde, geht das so trotzdem nicht!



Abbildung 215: Glücklicherweise habe ich auch die Oberseite geometrisch korrekt eingeschabt, so dass sie mir nun als wertvolle Referenz für Messungen dienen kann!

Also muss ich zuerst feststellen, wie "schräg" die Spindel nun zwischen Mutter und Lagerstelle hängt. Nun bin ich beseelt davon, dass ich die Oberseite des Oberschlittens ebenfalls geometrisch korrekt parallel zu seiner Unterseite eingeschabt habe (was normalerweise nicht nichtwendig gewesen wäre). Doch nur dank dieser eher "ästhetisch" anzusehenden Zusatzarbeit wird es mir möglich, die Oberseite als direktes Abbild der Flachführungen unten zu verwenden und dort eine Messuhr drauf zu stellen! Die Mühe hat sich also gelohnt!





Abbildung 216: Messen der Höhenlage der Spindel

Und die zeigt: natürlich sitzt die Spindelmutter deutlich tiefer als die Lagerstelle der Handkurbel. Wie tief, traue ich mich nach den Erfahrungen aus der Höhenmessung der Leitspindel (siehe Kapitel 28) ohne weitere Untersuchungen noch nicht genau zu sagen. Denn ich habe gelernt, dass z.B. eine leicht krumme Spindel mir hier völlige blödsinnige Messwerte vorgaukeln könnte. Also hilft es nichts: wieder alles Auseinanderbauen und die Spindel erstmal auf Rundheit und Gleichmäßigkeit ihres Gewindes (z.B. Abnutzung) untersuchen.



Abbildung 217: mit einem einfachen Abziehset aus dem Kfz-Bedarf kann man die Handkurbel sehr einfach uns schonendabziehen- und zwar OHNE die Spindel mit Hammerschlägen zu verbiegen!

Gesagt, getan. Die Spindel ist "runder" als befürchtet und durchaus dazu geeignet, für Messungen ihrer Höhenlage in der Mutter herzuhalten.

### Trotzdem mache ich erst einen Fehler:

aus der allerersten Messung schloss ich, wieviel µm von der Unterseite der Spindelmutter theoretisch heruntergeschliffen werden müssten. Also baue ich die Spindelmutter aus und werfe sie auf die Flachschleifmaschine. Die erste Klippe umschiffe ich noch erfolgreich: bevor ich ihre Unterseite schleife, mache ich erstmal ihre Oberseite plan, denn auf genau diese Oberseite muss ich die Mutter nachher legen, wenn ich ihre Füße schleife. Nur wenn dann diese (im Moment unten liegende) Oberseite auch exakt parallel zu ihren Füßen ist, wird auch dieser Schliff wieder parallel.



Abbildung 218: erst wird die Spindelmutter vermessen...

Ich war schon so stolz auf mich, an diese Falle gedacht zu haben. Doch dann holt es mich dennoch ein. Nach dem Wieder-Zusammenbau hakt der Oberschlitten schlimmer denn je und ich bin in der ersten Sekunde komplett ratlos, was ich denn falsch gemacht hätte.



Abbildung 219: ... dann geschliffen. Helfen wird mir das trotzdem nicht! (3)

Doch schon bald dämmert mir: kann es vielleicht sein, dass die Spindelmutter nicht in ihrer Höhe, sondern erstmal in ihrem Winkel korrigiert werden muss? Sprich: ist die Flachführung überhaupt wirklich 100% ig parallel zur Achse der Spindel?

Und wie messe ich das überhaupt?

## 52 Winkelkorrektur

Das ist tatsächlich gar nicht so einfach! Das von mir überschliffene Gehäuse der Spindelmutter ist zwar zwischen oben und unten nun super parallel ( $<5\mu m$ ), jedoch offensichtlich nicht das sich darin befindende Gewinde zu diesen "super parallelen" Flächen.



Abbildung 220: so ist die Spindelmutter von unten in den Oberschlitten eingebaut

Größtes Problem ist dabei, dass die eingeschraubte Spindel in der Mutter immer noch etwas Wackelspiel hat, was einem die Aufnahme eines einzigen Messwertes erschwert. Am Ende mache ich aber folgende Messungen.

1. Messung: Spindelmutter in den Oberschlitten eingebaut. Das komplette Bauteil mit dem Rücken auf die Messplatte. In die Spindelmutter einen 9,500mm Prüfdorn (Toleranz: +/-1μm) eingelegt und dann mit der Messuhr auf seine Oberfläche getastet. Problem: der Prüfdorn wackelt für reproduzierbare Messungen im Innern noch immer zu stark hin und her, sitzt also nicht stramm genug im Gewindeloch. Die nächste Größe, die ich habe, ist 10,000mm (und der der geht nicht hinein; ist also leicht zu groß). Ich bräuchte also vermutlich was mit 9,900mm oder 9,850mm; also etwas, was gerade so hineingeht und trotzdem nicht wackelt. Die dafür notwendigen Prüfstifte hab' ich leider nicht und kann mir in dieser Präzision sie mir ad hoc aber auch nicht selber "mal eben schnell" herstellen. So ein Ärger.



Abbildung 221: keine schlechte Idee mit den Prüfstiften, aber leider fehlt mir die passende Größe!

**2. Messung:** wie Messung 1, allerdings schraube ich statt eines Prüfstifts nun die richtige Spindel ein. Zu beiden Seiten lasse ich sie genau gleichlang herausstehen (jeweils ca. 12,5cm), so dass ihr Schwerpunkt in etwa in der Mitte liegt. Nun wird mit der Messuhr ca. 1 cm links und rechts der Spindelmutter abgetastet. Problem: durch den Druck des Messuhrstempels wippt die Spindel bereits etwas hinunter und verfälscht die Messung.

### Daher:

**3. Messung:** Die nackte Spindelmutter mit symmetrisch eingeschraubter Spindel. Messuhr wieder 1cm links neben die Spindelmutter antasten. Und dann: Spindel bewusst hoch- und runterkippen, so dass sie in der Vertikalen hoch und runterwackelt. Den jeweiligen min- und max-Messwert aufschreiben. Dasselbe auch 1cm rechts neben der Spindelmutter machen.





Abbildung 222: einmal nach unten (Bild links) und dann nach oben drücken (Bild rechts). Der Messwert ergibt sich aus dem Mittelwert der beiden Ablesungen.

Mit etwas Mathematik bekomme ich heraus, dass die Steigung der Spindelmutter über die etwa 60mm auseinander liegenden Messpunkte einmal  $285\mu m$  (Messung 2) und einmal  $305\mu m$  (Messung3) beträgt. Das ist erfreulich, denn wenn sich die beiden Messungen um lediglich  $20\mu m$  unterscheiden, spricht einiges dafür, dass die erhaltenen Messwerte einigermaßen verlässlich sind!

Auf die Länge des Spindelgehäuses (ca. 40mm) zurückgerechnet, heißt das, dass die Spindel links etwa 200µm höher liegt als rechts; d.h. also die Gewindebohrung um 0,29° schief im Gehäuse liegt (wer es nachrechnen will: tan(beta)=Gegenkathete / Hypothenuse).

Aber damit kann ich mir die 40mm lange, geschliffene Oberseite der Spindelmutter zur Kontrollfläche der bevorstehenden Winkelkorrektur machen.



Abbildung 223: die nun geschliffene Oberseite dient mir beim Schaben als Winkel-Orientierungshilfe

Aktuell liegt die genau parallel zur Granitplatte. Nun muss ich am Fuß der Spindelmutter so lange an der linken Seite Material abtragen, dass sie sie so tief neigt, dass ich entlang dieser 40mm Messstrecke irgendwann genau -200µm messen kann. Wenn das erreicht ist, dürfte die Spindel dann endlich genau parallel in der Spindelmutter ausgerichtet stecken. Und erst DANN -wenn also der Winkel stimmt- kann ich ihre Höhenlage korrekt bestimmen!



Abbildung 224: die Spindelmutter wird geschabt

Natürlich könnte man die Winkeländerung nun auch wieder mit der Flachschleifmaschine erzeugen. Aber ehrlich gesagt traue ich mich das nicht. Die Spindelmutter hat nicht unendlich viel Material an ihrem Fuß und ich habe noch nicht so viel Erfahrung an dieser Maschine.

Also schärfe ich mir eine Schabeplatte und trage mit wenig Druck von Hand ganz leicht Material ab- das Tuschierbild dabei immer im Auge behaltend! Die Anlagefläche ist nicht sehr groß, daher haben hier kleine Schabehübe sofort große Wirkung, weil sie gleich sehr viel Prozent der gesamten Fläche ausmachen. Entsprechend vorsichtig und zurückhaltend bin ich hier mit dem Schaber. Außerdem besteht die Spindelmutter offensichtlich aus Messing; und das schabt sich eh etwas anders als Grauguss.

Aber die Idee scheint zu fruchten. Schon bald kann ich an der Oberseite links -160µm gegenüber rechts ablesen. Hier höre ich erstmal auf und messe den Sitz der Spindel sicherheitshalber nochmal nach- jetzt nur nicht übers Ziel hinausschießen und noch mehr Material wegschaben, als es sein muss.



Abbildung 225: über die 40mm Messfläche habe ich schon 160µm der gewünschten 200µm geholt

Dann finde ich auch heraus, wie der Mechanismus zur Reduzierung des Backlashs bei dieser Spindelmutter funktioniert und reduziere dabei das Spindelwackeln mit angezogener Backlash-Schraube auf max. 30µm. Damit lässt sich schon viel besser messen.

Doch dann die Enttäuschung: trotz nachweislich auf der Messplatte um -160µm gekippter Spindelachse messe ich in eingebautem Zustand nach wie vor ein Ansteigen um etwa 280µm! Das gibt es doch nicht!



Abbildung 226: trotz Kippen des Winkels am Fuß ändert sich die Steigung der Spindel so gut wie nicht!

Doch, das gibt's. Ich ahne was: und zwar, dass ich den Sitz der Spindelmutter ebenfalls noch schaben muss. Also trage ich etwas Tuschierpaste auf die Spindelmutter und presse sie versuchsweise in den Grundkörper. Als ich sie wieder herausnehme, kann ich auf dem Grundkörper zwei kleine Kontaktstellen erahnen- mehr nicht. Ich hatte recht: die Spindelmutter wird in erster Linie von ihren halbkreisförmigen Seitenwänden geführt und weniger von der unten liegenden Grundfläche. Ich muss also die Seitenwände ganz leicht anschleifen (dass sie beim Einlegen zwar noch führt, aber ein ganz klein bisschen weniger klemmt!) und mich darum kümmern, dass auch der Fußboden glatt wird!

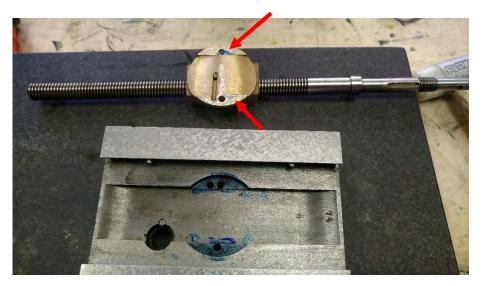


Abbildung 227: Tuschieren der Spindelmutter. Der Kontakt ist absolut spärlich!

Also wieder schaben. Oder?

## 53 Verpönt!

Ich weiß, es ist für Schaber eigentlich ein Sakrileg: das "Schaben" mit dem Dremel ist bei Schabern normalerweise so verpönt wie bei Marathonläufern die Nordic Walker. Und doch muss Platz für beides sein, denn in diese kleinen Strukturen komme ich mit den Schabern einfach nicht mehr hinein! Ich kann hier nur mit einem kleinen Schleifstift im Dremel arbeiten, denn das ist noch das einzige Werkzeug, mit dem ich die Stellen, die abzutragen sind, überhaupt noch erreiche.



Abbildung 228: Dremel als letzte Hilfe!

Also möge es mir bitte verziehen sein, aber eine andere Lösung sehe ich nicht (keine einsatzbereite Fräse).



Abbildung 229: das Tuschierbild verrät, dass die Mutter im wesentlichen von ihren Seitenwänden geführt wird und deshalb nicht wie gewünscht am Grund um die 200µm abkippen will!

Diese Arbeit ist wirklich sehr, sehr mühsam. Das Abtragen von Material dauert e w i g und das Abfühlen des Untergrunds mit der Messuhr zeigt, dass es dort Unebenheiten gibt, die teilweise größer als 100µm hoch (bzw. tief) sind. Dazu kommt die Art der Passung: erst als ich die Kehle ganz unten auf dem Grund mit einem Diamant Kegelfrässtift ausschleife, setzt das Aß endlich flächig auf dem Grund auf- vorher hat es nämlich immer auf der Kehle ringsherum aufgesetzt. Und das, obwohl ich die Ecken an der Spindelmutter eigentlich schon mit der Feile alle gebrochen und rund gemacht hatte!

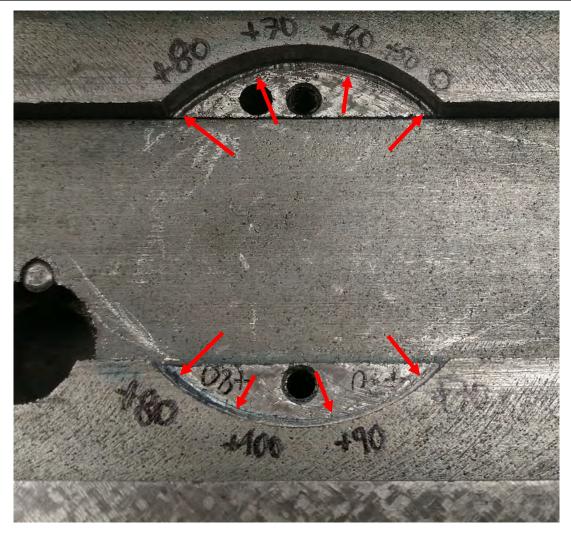


Abbildung 230: ganz wichtig: die Hohlkehle am Rand freimachen, sonst setzt die Spindelmutter (nur!) auf diesem dünnen Rand auf- und nicht auf der Fläche, wie sie soll!

Nach langer Arbeit komme ich dem Ziel aber langsam näher. Aktuell noch  $+170\mu m$  auf 60mm Messstrecke (wir kamen von  $+280\mu m$ ), aber endlich ein -so gut das auf dieser winzigen Fläche geht- weitestgehend "anständiges" Tuschierbild zwischen Bodenfläche und Spindelmutter.

Leider zeigt sich aber ebenfalls, dass auch die Spindelmutter nicht nur in X, sondern auch in Y verkippt ist (Abbildung 231). Die beiden Befestigungsschrauben gestatten vor dem Anziehen zwar etwas Spiel zum Ausrichten, jedoch 100%ig kriegt man die Spindel allein dadurch nicht parallel zur Geometrie des Oberschlittens. Ich frage mich wirklich: wie hat das Teil denn bitte vorher überhaupt richtig funktioniert?! Durch mein Schaben habe ich die Geometrie doch nicht so stark verändert, dass man die Abweichung nun inzwischen schon mit dem bloßen Auge sehen kann?

Ich werde es wohl nie erfahren.

Fakt ist, dass das Ausrichten der Spindelmutter und das Einschaben der korrekten Achsgeometrie sicherlich nicht ganz einfach werden werden.

Oh, ein Satz mit zweimal "werden". Selten.

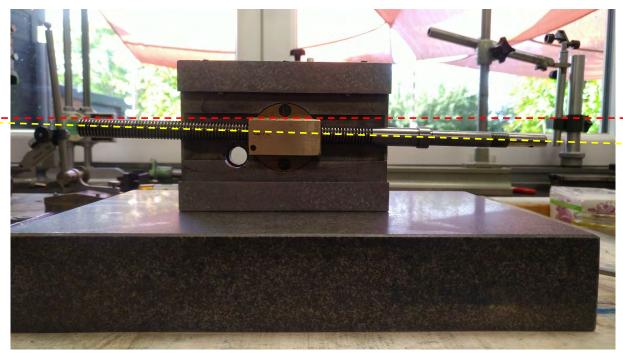


Abbildung 231: selbst mit dem bloßen Auge kann man sehen, dass die Spindel auch in die andere Dimension abkippt!

Möglicherweise werde ich es mit meinen Möglichkeiten nicht ganz perfekt hinkriegen, das dämmert mir bereits. Aber eines nach dem anderen. Erst werden wir die Verkippung in X korrigieren. Dann werden wir uns um Y kümmern.

Und erst wenn die Spindel dann möglichst parallel zur kompletten Schlittengeometrie (inkl. SSW!) verläuft, dann werde ich versuchen, mit Schaben oder Hasbergfolie die sicherlich notwendige Parallelverschiebung zu erreichen.

Vorher mache ich aber erstmal eine Zwischenmessung, ob ich noch auf Kurs bin. Also ab auf die Messplatte mit dem Kram.

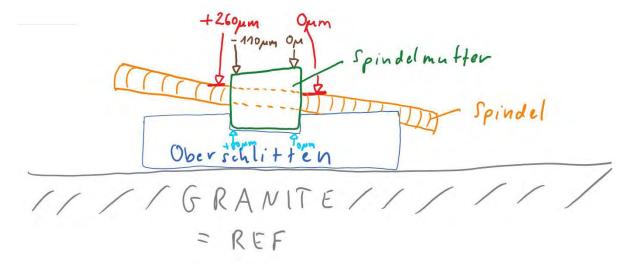


Abbildung 232: Zwischenmessung1

Jetzt wird es etwas "schräg". Die Spindelmutter hat noch immer eine starke Neigung von +260µm gemessen auf 6cm Länge (Zwischenmessung1). Die Oberfläche der Spindelmutter kippt jedoch genau in die Gegenrichtung (-150µm auf 4cm Länge, siehe Zwischenmessung 2).

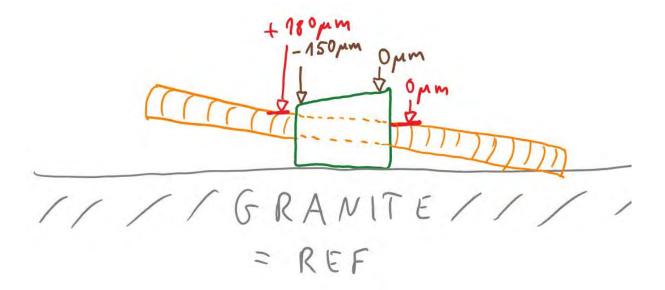


Abbildung 233: Zwischenmessung2

Dann messe ich den Grund noch einmal etwas genauer mit der Messuhr. Es zeigt sich, dass dieser inzwischen schon einigermaßen eben und parallel geworden ist, allerdings die obere Fläche doch noch stark nach rechts abkippt. In Summe ist dieses "Loch" gegenüber dem Rest etwa  $100\mu m$  tief, was natürlich für eine Korrektur die Wegnahme von sehr viel Material bedeutet und damit auch die Spindelmutter am Ende sehr stark hochsetzt. Das wollen wir jaaber vielleicht ist sie danach  $\underline{zu}$  hoch?

Es hilft aber nichts. Solange die Grundfläche nicht geometrisch sauber zum Rest verläuft, macht das Einpassen einer Spindelmutter keinen Sinn. Ein ebener und ko-planarer Grund ist die Basis und Grundlage unserer Arbeit.



Abbildung 234: Zwischenmessung3

## 54 Ein Schritt nach dem anderen

Auf Basis der gerade durchgeführten Messungen besinne ich mich darauf, erst einmal die Spindelmutter so zu schaben, dass ihre Gewindeachse parallel zum Fuß wird. Die aktuell 180µm Anstieg müssen weg.

Also Mini-step scraping auf Bronze. Hatte ich so vorher auch noch nicht. Geht aber. Man braucht allerdings schon ein wenig Erfahrung im Zielen mit dem Scraper, denn die zu bearbeitenden Flächen sind ja manchmal nur so groß wie eine Erbse.

Trotzdem: es gelingt mir!





Abbildung 235: geschafft: Spindelachse ist nun parallel zur Fußfläche

Endlich ist die Achse der Spindel auf besser als 10µm über die ca. 6cm Messdistanz parallel. Und das Tuschierbild ist so schlecht auch nicht:



Abbildung 236: Tuschierbild der Unterseite der Spindelmutter

Natürlich ist hier viel Farbe verwendet und ich habe hier auch kein Schuppenmuster geschabt. Das brauch es hier aber meiner Meinung auch nicht. Viel wichtiger ist mir, dass die Fläche nun endlich einigermaßen eben ist und eine koplanare Fläche zum Gewinde bildet.

## 55 Der nächste Schritt

Als nächstes mache ich mal den Test, wie der Sitz der frisch geschabten Spindelmutter im Oberschlitten jetzt ist. Wichtig ist dabei

- das Kontaktbild (Tuschierbild)
- die geometrische Ausrichtung (Spindel parallel zur Bewegungsachse)

Aber mit Geduld und etwas Grips ist mir das am Ende dann doch noch gelungen!



Abbildung 237: Lage der Spindelmutter nun endlich parallel!

## 56 Viele Kleinigkeiten werden zu Großlichkeiten

Nachdem also nun endlich die Spindelmutter auf der richtigen Höhe sitzt und sich auch das Ausrichtungsproblem damit quasi "von selbst" gelöst hat, bin ich trotzdem noch nicht zufrieden. Die Bewegung des Schlittens ist immernoch eierig und wird gegen Ende leicht schwergängig. Noch immer!

Weil ich nun auch in diesem Bericht bereits die 150 Seiten geknackt habe, erspare ich Euch einige unnütze Laberei.

### **56.1 Problem 1**

Die erste Ursache der Schwergängigkeit war tatsächlich noch immer eine leichte Blockierung durch die oberen(!) Flachbahnen. Die sollen ja eigentlich gar keinen Kontakt haben, sondern nur da sein und schön aussehen. Trotzdem konnte ich mit einem 20µm Fühlerblatt sehen, dass es da an einigen Stellen schon eng wurde.

Also schabe ich nochmal im Kreuzgang über die oberste Fläche und hole damit so etwa 20µm herunter. Hinterher läuft das Schlitten deutlich homogener und gleichmäßiger. Das war also wirklich das Problem!

Will ich auch gehofft haben, denn die Breite der Trapezführungen habe ich auch nochmal mit dem Tellermikrometer nachgemessen und komme zwischen vorne und hinten auf eine Varianz von maximal  $10\mu m$ , eher  $5\mu m$ . Das dürfte die Schlittenbewegung noch nicht so unterschiedlich machen.

### **56.2 Problem 2**

Aber das war es noch nicht. Auch ist mir eine ziemlich eierige Bedienung der Kurbel aufgefallen. Macht man ein paar Tropfen Öl zwischen Skalenring und Anschlag, quillt das bei jeder halben Umdrehung aus einem kleinen, sich bildenden Spalt heraus. Hier hat doch was einen Schlag! Wie geht denn das? Ich habe es doch mit der Flachschleifmaschine geschliffen! Die schleift doch super gerade.

Tut sie auch. Aber ich als Neuling muss lernen, dass jede Maschine nur so gut performt, wie die Aufspannung des Werkstücks. Und hier liegt mein Fehler: ich habe die Fläche einfach nur geglättet und mich darauf verlassen, dass die Unterseite des Werkstücks schon eben gut rechtwinklig zur Achsbohrung sein wird.

War sie aber nicht.

Und somit habe ich beim Schleifen mehr versaut als optimiert!

Mit etwas Nachdenken wird auch mir endlich klar, dass die Ebene nicht nur plan, sondern auch wirklich lotrecht zur Spindelachse sein muss! Also muss ich auf die Spindelachse referenzieren. Das ist nicht leicht bei nur einem kleinen 10mm-Loch.



Abbildung 238: Versuch mit neuer Aufspannung: eine h6-Welle von 10mm

Aber nun kommt mir eine Idee. Wenn das Loch genau 10,00mm im Durchmesser ist, müsste doch eigentlich mein 10,000mm Prüfstift da reinpassen. Damit hätte ich endlich eine Referenzachse, zu der ich die Rechtwinkligkeit messen könnte.



Abbildung 239: Lichtspaltprobe mit 10mm Prüfstift

Die Idee ist nicht schlecht, aber offensichtlich noch nicht gut genug. Auch mit eingestecktem Prüfstift muss ich zugeben, dass die Lichtspaltproben eher mehr Zufall als Messwert sind.

Dann spinne ich meine Idee weiter. Ich habe immer einen paar Stangen h6 geschliffene Präzisionswellen im Haus. Davon nehme ich mir noch eine im 10mm-Durchmesser und fädele sowohl den Lagerbock als auch den Skalenring auf. Das ist quasi mein "Spindelersatz". Und endlich sehe ich es: es ergibt sich zwischen beiden Bauteilen ein Spalt, in den ich sogar Fühlerlehrenband zwischenstecken kann.



Abbildung 240: nicht gut- ein eingestecktes Fühlerlehrenblatt bedeutet einen Spalt zwischen Skalenring und Lagerbock- es eiert!

Der nächste Schritt ist nun nicht mehr weit. Ich spanne den ganzen Aufbau in meine Drehmaschine und benutze sie als Messapparatur für Rundlauf. Ich weiß ja, dass die Maschine im Rundlauf mehr als gut genug ist, um Höhenschläge, die für ein Handrad überhaupt relevant sind (ich behaupte mal:  $>>10\mu m$ ), zuverlässig auszumessen.

Und genau so mache ich es:



Abbildung 241: Rundlaufmessung des Skalenrings

Und ich messe hier über 100µm Höhenschlag!



Abbildung 242: Rundlaufmessung des Lagerbocks

Und das sowohl beim Skalenring als auch beim Lagerbock. Diese addieren sich also auf insgesamt mehr als 200µm relativer Bewegung zueinander. Dass das eiert und eine extrem ungleichmäßig "ruckelnde" Kurbelkraft ergibt, glaube ich gern!!

Wie aber nun korrigieren?

Es kommt das Schweizer Taschenmesser zum Einsatz: die Stichelschleifmaschine (kurz: SSM)!



Abbildung 243: Einrichten des Schleifsetups auf der SSM

Aber natürlich muss dieser Versuch nun endlich "sitzen", denn es gibt am Skalenring und dem Lagerbock nicht mehr viel Material, dass ich zum Ausprobieren einfach wegschleifen und opfern kann. Dieser Versuch muss sitzen!

Also spanne ich den Skalenring samt h6-Achse erstmal in die 355E Spannzange und prüfe, ob sich in etwa dieselben Messwerte ergeben wie zuvor in der Aufspannung auf der Drehmaschine.

Tatsächlich erlebe ich schon hier Unterschiede. Wo ich an der Drehmaschine 115µm Höhenschlag messen konnte, habe ich in der SSM nun etwa 150µm. Woran das liegt, kann ich nicht sagen. Bei so einem großen Schleifdurchmesser und so einer kurzen Aufspannung mag es viele Gründe geben, weshalb ich hier leicht andere Messwerte habe. Ich spanne nochmal um, säubere nochmal alles, aber die 150µm bleiben reproduzierbar. (Was erstmal gut ist!)



Abbildung 244: fertig einrichten zum Schleifen!

Was jedoch viel wichtiger als der absolute Wert ist, ist, dass die Stellen, wo diese Aufspannung die maximale Höhe anzeigt, exakt dieselbe ist wie zuvor auf der Drehmaschine! Sprich: ob der Berg nun 115µm oder 150µm hoch ist- es ist zumindest der richtige Berg! ⑤

Im noch ruhenden Zustand der Maschine drehe ich von Hand durch und stelle auch fest, dass die Schleifschreibe auf exakt diesem Berg anfängt, ihn anzukratzen. Also schalte ich ein und drehe den Skalenring von Hand einmal langsam eine Umdrehung durch. Dann schalte ich die SSM wieder aus und prüfe erstmal, die das Schliffbild ausschaut.



Abbildung 245: Schliffbild und Messung sind stimmig!

Die Messwerte für den Höhenschlag und die Berührungspunkte beim ersten Schliff passen perfekt zueinander. Ich schöpfe Vertrauen in meine jetzige Aufspannung und schleife weiter.

Um meine Aufspannung nicht zu sehr zu strapazieren, stelle ich wirklich immer nur ganz ganz wenig zu. Ich höre erst auf, als der Skalenring einmal komplett unterbrechungsfrei umschliffen wird. Obwohl am Ende in der Innenseite noch eine kleine Stelle unberührt ist, höre ich dann trotzdem auf. Ich will unbedingt so viel Material erhalten, wie irgendwie möglich.

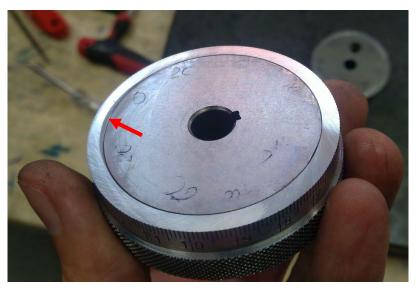


Abbildung 246: Schleifen des Skalenrings. Man hätte noch etwas mehr abnehmen können, aber ich habe das Material ganz bewusst geschont, um die Erhabenheit des Rings nicht kaputtzumachen!

Sieht ja gut aus, aber ist es jetzt auch gut? Also wieder ab auf die Drehmaschine.





Abbildung 247: statt 115µm jetzt nur noch 15µm TIR

Und damit bin ich doch jetzt absolut zufrieden! Den Höhenschlag konnte ich auf nur noch 15µm verkleinern! Und angesichts dieser sehr kurzen möglichen Aufspannung auf den 10mm-Dorn ist das doch gar nicht schlecht!

Nun also den Lagerbock nach derselben Methode schleifen. Ich bin mir nicht sicher, ob es hier vorher auch einen erhabenen, äußeren Ring gab, aber von dem ist leider hier nichts mehr übrig. Die Schleifscheibe erfasst schon die innere Fläche, noch bevor alle Berge abgetragen sind. Also stelle ich nun komplett bis zu Mitte zu, um die gesamte Fläche zu erfassen. Das mag die Maschine nicht mehr so richtig und quittiert diese extrem große Fläche mit Quietschen. Ich stelle daher nur noch in 5µm-Schritten zu, denn ich will die Maschine ja nicht überlasten.



Abbildung 248: Schleifen des Lagerbocks

Am Ende wird vermutlich im Innern ein kleiner Berg stehenbleiben (tut er auch), aber sonst sieht es doch nicht schlecht aus.



Abbildung 249: Lagerbock nach dem Schleifen

Ich vermute, wegen der -für eine SSM- extrem großen Schleiffläche reichte die Stabilität der Maschine nicht mehr wirklich aus. So mit erreiche ich hier nur eine Reduzierung des Höhenschlags auf  $25\mu m$ .



Abbildung 250: Ergebnis: 25µm TIR

Aber immerhin: für eine SSM, die für sowas gar nicht gebaut wurde, nicht schlecht! Nun geht es darum, ob die beiden Bauteile nun besser zueinander passen.

Das tun sie: ähnlich wie bei einem gut geläppten Endmaßkasten, hält nun der Skalenring am Lagerbock alleine durch "Anreiben". Ein Zeichen dafür, dass Vieles gut gemacht wurde!



Abbildung 251: der Skalenring hält- nur durch Ansaugen!

Nun kommt noch das Innenteil des Skalenrings auf den Prüfstand. Wieder Messung auf dem h6-Dorn und Prüfung mit der Messuhr.



Abbildung 252: das Innenteil wird ebenfalls überprüft

Sehr schön: ich habe mit meinem Mitutoyo Höhenanreißer auch eine Messuhr mit extrem langem Tastarm bekommen. Den habe ich hier gleich mal ausprobiert:



Abbildung 253: langer Tastarm

Von vorne messe ich dann wieder mit meiner Messuhr. Alles prima- wie man sieht, habe ich auch diese Fläche geschabt.



Abbildung 254: geschabtes Innenteil

Als endlich alles zusammenpasst, wird zusammengebaut. Das Innenteil mit seinen Klemmfedern (Skalenringverstellung) wird wieder mit LM48 Montagepaste eingeschmiert.



Abbildung 255: Einfetten der Skalenringverstellung

Das dann zusammengesetzte Teil sieht sehr schön aus mit der jeweils geschabten Oberfläche.



Abbildung 256: der Skalenring mit Innenteil- geschabt

Lagerbock und Skalenteil übertragen die Kraft nun vollflächig über die geschabte Fläche!



Abbildung 257: Zusammenbau

Und damit können wir endlich das Thema "Oberschlitten" abschließen! Es war ein langer Weg, aber mit den ganzen Arbeiten läuft der Oberschlitten nun endlich weich und gleichmäßig über seinen gesamten Bereich!



Abbildung 258: tricky: die Skala läuft unter der Spindelmutter durch!



Abbildung 259: Prüfen des Spaltmaßes

Ihr ahnt es schon, was jetzt kommt.

## 57 Querschlitten Finetuning!

Jetzt, wo ich das Kraftübertragungskonzept am Oberschlitten einigermaßen verstanden zu haben glaube, und der sich nun mit nahezu gleichmäßiger Leichtigkeit von ganz vorn bis ganz hinten unter kaum messbarem Wackeln bewegen lässt, möchte ich dieselbe Performance nun am Querschlitten auch haben!

Dieser ist zwar in seiner Führung ebenfalls ohne Tadel, allerdings kurbelt es sich doch etwas "zäh". Also so, als ob jemand etwas zähflüssiges Karamell in die Ölöffnung der Kurbel gefüllt hätte. Und dass das vermutlich besser geht, beginne ich langsam durch die Erfahrung mit dem Oberschlitten zu ahnen.

Also baue ich zuerst den Kurbelgriff ab, damit ich mir auch sicher bin, dass das zähe Kurbeln wirklich von der Lagerstelle in der Nähe des Skalenrings kommt und nicht am Ende von einer total verspannten Spindelmutter stammt! (Es macht immer Sinn, seine eigenen Arbeiten zu hinterfragen, bevor man was macht.)

Ich benutze diesmal eine kleine Schraube, eine Rohrzange und einen kleinen Metallkelch (sowas wie ein stabiler Fingerhut), um den Kegelstift zu entfernen. Das klappt erstaunlich gut: die kleine Schraube drückt den Dorn zwischen den Zangenbacken schon nach wenigen Sekunden Kraftaufwand sauber nach unten in das Hütchen. Die Spindel hat dabei null Querbeanspruchung erleiden müssen. Sehr gut!





Abbildung 260: schonendes Herausdrücken des Kegelstiftes mit "Fingerhut"

Für das Abziehen des Griffs benutze ich dann wieder die Trennvorrichtung aus dem Kfz-Handel. Sie aus der Garage zu holen und in ihren Einzelteilen erstmal zusammenzubasteln, dauert zwar etwas, aber ich werde dadurch belohnt, dass auch während dieser Demontage keinerlei schädliche Kräfte auf die Spindel gewirkt haben (z.B. Hammerschläge).

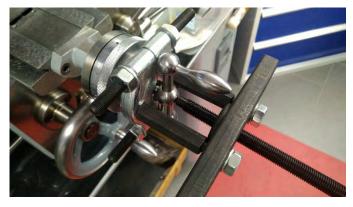


Abbildung 261: Abziehen der Kurbel mit Trennabzieher aus dem Kfz-Handel

Ich bin mir sicher, dass das eine der schonendsten Arten ist, einen Ballengriff von einer Drehmaschine zu demontieren. Hier bin ich inzwischen etwas "gereift", früher hätte ich einfach den Hammer genommen und draufgedroschen.

Ich schraube danach den Skalenring und dann den Lagerbock ab. Eine kurze Prüfung zeigt, dass die Querschlittenspindel in diesem Zustand so leicht zu bewegen geht, dass ich sie sogar mit den Fingern ganz easy per Hand drehen kann. Auch das Zahnrad zum Schlosskasten klemmt nicht und ebenfalls die Spindelmutter, die ich ja in der Höhe schon zuvor eingepasst hatte, bewegt sich sehr leicht. Es ist wirklich die Lagerstelle zwischen Skalenring und Lagerbock, die so schwer "klebrig" zu bewegen geht\*.

\* Noch kenne ich nicht die komplette Wahrheit, aber lest weiter!



Abbildung 262: der Lagerbock, auf einem Dorn aufgespannt, bei der Rundlaufmessung

Als ich diese Einheit auseinandernehme, erkenne ich drei unterschiedliche Höhenniveaus, die sich im Laufe der Jahre aufeinander eingeschliffen zu haben scheinen. Das erste Niveau liegt dort, das vorher vom Skalenring bedeckt wurde. Das zweite Niveau ist ein kleiner, vielleicht 2mm breiter Kranz direkt um die Spindelachse (ich nehme an, hier soll die Kraft übertragen werden und deshalb hat er sich infolge Verschleiß im Lauf der Jahre so tief in den Lagerbock eingescheuert). Als drittes Niveau dann eben die Fläche dazwischen- die vermutlich etwas zurückbleiben und gar keinen Kontakt haben sollte- es aber nun inzwischen durch Verschleiß DOCH hat und die ganze Sache so zäh macht.

Ich überlege lang hin und her, was ich mache. Schließlich entscheide ich mich, das Kraftübertragungskonzept zu ändern! Warum? Weil der Verschleiß bereits so weit fortgeschritten ist, dass von dem inneren, leicht vorstehenden Kranz um die Spindel kaum noch was vorhanden ist und ich weder Fräse noch Teilkopf verwendbar habe, um die Fläche neben dem Kranz um ein paar Zehntel Millimeter gezielt abzusenken. Also mach ich das anders:

Ich ebne die Fläche komplett ein. Und zwar wieder radialsymmetrisch zu Spindelachse, so wie ich das schon zuvor am Oberschlitten gemacht habe. Das ist in der Herstellung anspruchsvoller und benötigt eine deutlich größere Präzision, deshalb hat man es ab Werk vermutlich nicht gemacht.

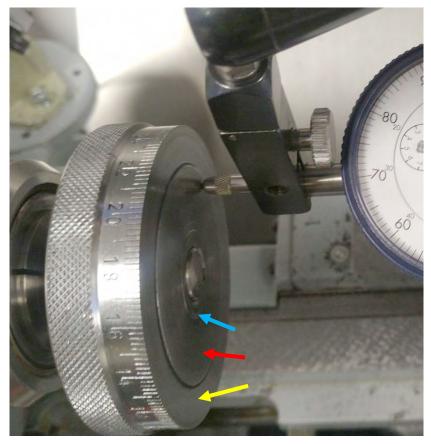


Abbildung 263: man erkennt drei verschiedene Niveaus (gelb, rot, blau)

Mit dem Schaber arbeite ich beide Flächen so aneinander an, dass sie maximal 10µm Höhenschlag haben. Sprich: ich verbreitere damit den Kraftübertragungs-Kranz, der vorher vielleicht 2mm breit war, auf nun vielleicht 20mm! Das erzeugt natürlich die höheren Anforderungen an die Ebenheit und Radialsymmetrie der beiden Kontaktflächen zueinander, aber dürfte -wenn mir das gelingt- eine um Zehnerpotenzen größere Steifigkeit als vorher haben. Und falls das alles nicht klappen sollte, kann ich ja immernoch eine geschliffene 12mm-Scheibe mit 0,1mm Dicke zwischen die Flächen legen und damit sowas wie einen "künstlichen Kranz" schaffen. Damit wären wir dann wieder zurück beim ursprünglichen Kraftübertragungskonzept.

Ich habe also Plan A und auch noch Plan B (falls A nicht gelingt), also bin ich frohen Mutes, dass ich das schon schaffen werde. Sowieso hat mir die ganze Maschinenarbeit über die vielen Monate ein deutlich gestärktes Selbstvertrauen bei Eingriffen in Werkzeugmaschinen gegeben: insbesondere, wenn es um das Schaben von Flächen geht, traue mich sehr viel mehr als früher und ich verstehe inzwischen auch mehr! Zwar bin ich mir auch hier insgeheim noch immer ein ganz klein wenig unsicher, ob ich bei meinen Überlegungen nicht DOCH was vergessen habe, aber ich schöpfe aus den vergangenen Erfahrungen immerhin schon so viel Mut, dass ich die Modifikation wage. Am Ende wird es aber gelingen!



Abbildung 264: diese beiden Teile schabe ich aufeinander ein



Abbildung 265: Designänderung: die ehemals drei verschiedenen Niveaus werden nun auf eine gemeinsame Höhe gebracht!

## 58 Es klemmt noch immer!

Das präzise Anarbeiten dieser beiden Flächen zueinander gelingt. Die Flächen reiben sauber aneinander, eiern nicht (zumindest nicht sichtbar) und auch das Kurbelgefühl dieses Mechanikteils ist nun absolut ohne Tadel. Zumindest für meine Ansprüche 🕃

Doch das ändert sich sofort, sobald ich die Querschlitten-Spindel einsetze und den Querschlitten damit hin und her kurbele! Insbesondere, sobald der Querschlitten in Richtung Bediener kommt, wird -trotz Einschaben der Stirnflächen von Skalenring und Lagerbock- die Bewegung zunehmend schwergängiger. So ein Mist! Was ist da los?

Der Skalenring mit Lagerbock kann dies nicht mehr verursachen, denn diese beiden Teile habe ich ja gerade überarbeitet und auch nachweislich deutlich in ihrer Performance verbessert. Was aber klemmt denn jetzt noch? Was kann überhaupt noch klemmen?

Mir fallen nach etwas Nachdenken folgende Gründe ein:

- 1. Die Spindelmutter kann man ja spielfrei einstellen. Sollte jedoch die Spindel selbst ungleichmäßig selbst abgenutzt sein (also das Gewinde mittendrin die Flankenstärke stark ändern), so kann das ein Klemmen verursachen.
- 2. Der Querschlitten könnte ungleichmäßig in seinem Bett laufen (Führungen).
- 3. Die Querschlittenspindel ist krumm (Höhenschlag, läuft nicht rund).
- 4. Die Höhenlage der Spindelmutter ist falsch eingestellt.
- **5.** Die Neigung der Querschlittenspindel zum zum Schlittenbett passt nicht (nicht parallel).
- **6.** Die Mutter selbst ist gegenüber der Spindel verkippt.

Ich überlege, wie ich die wirkliche Ursache aus der Fülle der Möglichkeiten herausfinden kann. Ich beginne mit dem Einfachsten. Also:

**Zu 1):** Ich baue die Spindel aus und nehme sie in die eine Hand. Dann nehme ich die Spindelmutter in die andere und setze sie auf die Spindel auf, bis sie ins Gewinde greift. Dann kurbele ich den gesamten Bereich von Hand durch und prüfe, ob sie sich auch überall leicht und klemmfrei bewegen lässt. Das tut sie. Zur Sicherheit messe ich mit dem Messschieber noch einmal grob die Breite der Gewindeflanken an verschiedenen Stellen. Okay, vermutlich ist das nicht die richtige Messmethode, aber andere Werkzeuge dafür hab ich leider nicht und auch so bestätigt mir der Messschieber, dass das Gewinde über die gesamte Länge noch nahezu gleich stark ist. Das ist gut. => Grund #1 ist es also nicht.

#### Zu 2)

Das ist auch leicht. Sobald die Querschlittenspindel ausgebaut ist, kann man den Querschlitten von Hand über den gesamten Bereich vor und zurück schieben. Weil ich mir beim Schaben jedoch große Mühe gegeben habe, gelingt diese Bewegung sehr gleichmäßig und leicht. Vielleicht nicht perfekt, zugegeben, aber ich kann keine großen Klemmstellen oder Wackelstellen finden, wo der Sitz irgendwie "schlecht" wäre und was man beim Kurbeln über eine Gewindespindel noch bemerken könnte.

Der Querschlitten verschiebt sich überall in seinem Arbeitsbereich "satt" und sehr gleichmäßig.

Zur Sicherheit messe ich nochmal Schwalbenschwanzbreite mit dem Tellermikrometer. Aber auch der bestätigt eine auf wenige  $\mu m$  (ca.  $5\mu m$ ) konstante SSW-Breite und damit eine gute Führung.

Ergo: Grund #2 scheidet als Ursache ebenfalls aus.

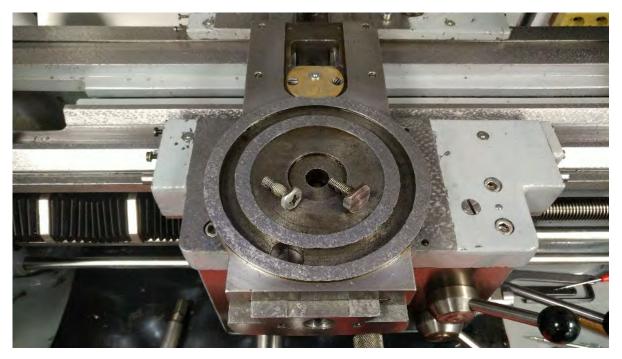


Abbildung 266: Die teilweise nicht originalen Halteschrauben habe ich mir bei Firma FKW Kilgenstein als Originalteil neu bestellt (hier noch die alten zu sehen)

#### Zu 3), 4), 5), 6)

Aber jetzt geht es los, denn in jedem der folgenden Punkte werden wir nun fündig.

Die Spindel ist krumm wie eine Banane, sowohl die Neigung der Spindelmutter als auch der komplette Sitz in der Spindelmutter im Querschlitten ist nicht richtig und am Ende werden wie die Höhe auch nochmal neu einstellen müssen.

Beginnen wir also mit einer erneuten Messung der Spindellage.

### 58.1 Spindelgeometrie verifizieren: Höhenlage

Ich weiß, in Kapitel 33 habe ich die Spindellage schon einmal mit Endmaßen und einem ziemlichen trickreichen Messaufbau bestimmt und daraufhin Unterlegfolie unter die Spindelmutter gelegt.



Abbildung 267: Messaufbau zur Bestimmung der Höhenblage mit RDM

Die Idee war rückblickend nicht schlecht, allerdings habe ich dabei leider was vergessen: die Spindel hat da hinten am Ende einen ganz schönen Höhenschlag! Sprich: als ich damals das Spaltmaß mit meinem 44,00mm Endmaß bestimmt habe, stand die Spindelmutter gerade in "irgendeiner" Position; d.h. war unbestimmt. Keine Ahnung, um der Schlag gerade nach unten stand, nach oben, oder zur Seite. Und das war mein Fehler- ich muss die Überprüfung nochmal machen. Diesmal muss ich es aber nach der RDM-Methode machen und wenigstens in allen 90°-Stellungen der Spindel einen Messwert aufnehmen und mir daraus erst einen Mittelwert berechnen. Nur wenn ich das so mache, kriege ich die gemittelte Ruhelage heraus- und nicht irgendeinen undefinierten (Extrem?)-Wert wie in Kapitel 33.

Ich mache es diesmal also anders. Ich stelle meine Messuhr auf zwei Präzisions-Fräsunterlagen, so dass ich auf die Flachführungen referenziere, also im Prinzip genauso wie in Abbildung 34. Denn diese sollen ja möglichst exakt parallel zur Spindel sein, daher ist es eine gute Idee, gegen sie zu messen.

Eine eingespannte Messuhr mit großen Flächentastfinger wird gegen die Spindel gerichtet, und so ausgerichtet, dass sie den Maximalwert anzeigt. Damit haben wir dann schonmal den obersten Punkt gefunden. Nun wollen wir wissen, wie sehr dieser Punkt durch einen möglichen Höhenschlag der Spindel "wackelt", wenn sie sich dreht.

Also Kurbel drehen und dabei die Messuhr beobachten.

An dieser vorderen Messstelle direkt hinter dem Lager zappelt der Zeiger um +/- 20µm.





Abbildung 268: Höhenschlagmessung vorne

Nun verschiebe ich meine Mess-Mimik weiter nach hinten in Richtung Spindelende. Wenige Zentimeter vor dem Ende des Gewindes messe ich erneut.





Abbildung 269: Höhenschlagmessung hinten

Und nun sieht man die ganze Traurigkeit: die Spindel schlägt hier um -200 $\mu$ m/+310 $\mu$ m. Was interessant ist: der Mittelwert ist nun nicht mehr Null, sondern errechnet sich zu +55 $\mu$ m! Bedeutet: die Spindel schlägt zwar, aber scheint auch gegen Ende leicht anzusteigen, denn ihre Ausschläge an der Messuhr sich nicht mehr exakt symmetrisch, sondern in den Plus-Bereich verschoben!

Das ist nicht gut. Nun sind 55µm nicht die Welt, aber schön auch nicht.

Und dann bemerke ich was:

Während die Spindel ihren Minimalwert hat  $(-200\mu m)$ , ist keinerlei Freiheit mehr nach unten gegeben. Wie wir aus Abbildung 29 wissen, hat die Spindel -zumindest bei meiner Maschineja auch hinten eine Lagerstelle, ist also vermutlich mechanisch überbestimmt! Es könnte also gut sein, dass die Bohrung hinten die eiernde Spindel diese  $55\mu m$  nach oben zwingt!

Jetzt reicht es aber. Das Thema hatten wir doch schonmal! Reichte das Aufbohren von 9,2mm auf 9,5mm nicht?

Nein, es reicht wohl nicht. Ich habe die Faxen dicke und hole meine neueste Nahkampfwaffe heraus: ein Set Reibahlen. Mit denen werde ich das Loch hinten auf 10,0mm aufreiben, damit die Spindel hinten frei laufen kann und nicht die 55µm hochgedrückt wird.

Zwar nicht nagelneu, aber dennoch in sehr gutem Zustand und gespendet von Bastlerfreund Norman für meinen Fleiß im Schreiben von Reparaturberichten. Als hätte er es gewusst, kann ich dieses Set nun gleich super gebrauchen! Nur zwei Tagen nach dem Auspacken hat es daher schon seinen ersten Einsatz, das freut Norman sicher :-)



Abbildung 270: unverhofftes Geschenk von Norman- vielen Dank!

Auch an dieser Stelle noch einmal tausend Dank für diese Spende!

## 58.2 Spindelgeometrie verifizieren: Seitenlage

Doch bevor ich das Ergebnis des Aufreibens des hinteren Lochs verrate, noch einmal der Vollständigkeit halber das Verfahren, wie ich die seitliche Geometrie vermessen habe. Das war wirklich etwas tricky, denn selbst meine Tellermessschraube passte nicht zwischen Spindelgewinde und eingelegten Röllchen im SSW.

Mal wieder musste ich improvisieren. Ich nahm also den Fuß eines Moore&Wright Model 405 Messuhrstativs, zog seine Stifte hinten heraus und legte zwei Röllchen in den SSW der Maschine. Auf den Fuß stellte ich mein Magnetstativ, denn nur mit seinem Knickarm konnte ich einen Messtaster in die korrekte Position zum seitlichen Antasten der Spindel bringen.



Abbildung 271: Messaufbau von vorne

Das funktionierte auch nur geraaaaade so, fast wäre das Magnetstativ vom Fuß heruntergekippt.



Abbildung 272: Messaufbau von hinten

Nun zahlt es sich also aus, dass ich auch die oberen Flächen der Führung (die eigentlich keine Funktion haben) eben geschabt habe. Denn hätte ich das nicht gemacht, hätte ich diese Messung nicht machen können!

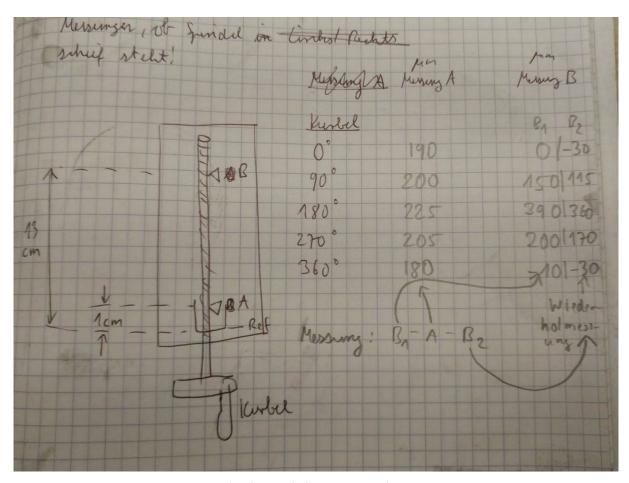


Abbildung 273: Messergebnisse

Ich messe an zwei Stellen, muss aber natürlich berücksichtigen, dass der Messtaster auf einem Gewinde aufliegt, dass sich beim Drehen der Spindel unter dem Messfühler wegbewegt. Also habe ich jeweils in 90°-Schritten gemessen und immer wieder neu das Maximum auf der Gewindeflanke gesucht, bevor ich den nächsten Messwert aufgeschrieben habe.

Am Ende habe ich die Messung an Stelle B nochmal wiederholt, um einen Eindruck von der Wiederholbarkeit zu gewinnen.

Die Rechnung nach RDM zeigt, dass die Achslage in Messung A bei rechnerisch  $+202,5\mu m$  liegt.

Bei Messung B1 liegt sie bei  $+195\mu m$ .

Bei Messung B2 bei +165µm.

Messung B2 würde ich etwas weniger vertrauen, weil es die letzte der drei Messungen war und wir anhand des Messwertes von "-30µm" an der Referenzposition dort keine saubere Null mehr hatten.

Aber wie dem auch sei: selbst bei 30µm Abweichung der Seitenachse zwischen vorn und hinten behaupte ich: Geometrie in der Fläche passt! Uff! (3)

# 59 Eine schiefe Spindel...

Aber nun reiben wir erstmal das hintere Loch weiter auf 10,0mm auf.



Abbildung 274: Normans Reibahlen beim ersten Einsatz

Hoffnungsvoll mach ich die nächste Messung. Meine Erwartung war jetzt, dass die Spindel nun endlich frei dreht und damit auch nicht mehr in eine bestimmte (verkehrte) Lage gezwungen wird, was zum Verklemmen der Mutter und zu Schwergängigkeit führen kann.

Nunja- aber diese Idee war wohl nix!

Nicht eine verkehrte Lage der Spindel ist wohl mein Problem- vielmehr die Tatsache, dass sie krumm ist wie eine Banane!

Selbst nach dem Vergrößern des Loches stößt die Spindel weiterhin an und das Kurbeln des Querschlittens ist viel schlimmer geworden als vorher. Im Nachhinein verstehe ich das: dadurch, dass die krumme Spindel nun von hinten mehr Freiheit bekommt, eiert sie nun noch viel mehr herum als vorher und das kriegt nun alles die Spindelmutter ab!

Rückblickend muss ich sagen, dass das Aufbohren des hinteren Lochs wohl trotzdem gut war, denn das erst führte mir vor Augen, dass ich mich -vor allem anderen- erstmal um das Richten der krummen Spindel kümmern muss, bevor ich irgendwas anderes mache.

Also ein weiteres Arbeitspaket. Ich komme wohl nie zum Ende...

# 60 Querschlittenspindel begradigen

Die Frage, ob eine verbogene Spindel vielleicht (auch!) Ursache für den schlechten Lauf ist, muss ich nach aktueller Erkenntnis also eindeutig mit "ja" beantworten! Aber wie ermittele ich das?

Ich habe leider kein Rundlaufprüfgerät, so dass ich etwas improvisieren muss. Also spanne ich die ausgebaute Querschlittenspindel zwischen die Spitzen meiner Drehmaschine und mache die Messung dort.



Abbildung 275: Rundlaufmessgerät für Arme

Alle 2 cm nehme ich einen Messwert mit der Messuhr. An den Übergängen zwischen verschiedenen Teilen der Spindel (z.B. Gewindeteil, Schaft, Kurbel, usw.) messe ich jeweils zusätzlich so nah wie möglich auf beiden Seiten des Übergangs.



Abbildung 276: So messe ich den Rundlauf

An jeder Stelle nulle ich die Messuhr neu, so dass ich wirklich nur den TIR-Ausschlag messe und nicht die Parallelität meines Maschinenbetts (obwohl: anhand der extrem schlechten Rundlaufwerte wäre der Einfluss des gerade eingeschabten Bettes tatsächlich vernachlässigbar klein gewesen).



Abbildung 277: die Stelle des maximalen Ausschlags markiere ich mit einem blauen Punkt

Mit einem blauen Filzstift mache ich bei jeder Messstelle einen Punkt genau dort, wo die Messuhr maximal ausschlägt. Wir erkennen damit sehr schön, in welche Richtung die Spindel bauchig gebogen ist! Noch besser zeigt es aber das folgende Diagramm:

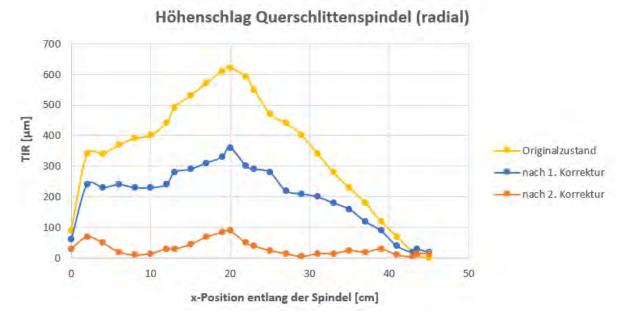


Abbildung 278: Ergebnisse der Rundlaufmessung: die Spindel ist anfangs total verbogen!

Wie wir in der gelben Kurve sehen, beträgt der maximale Ausschlag -etwa 20cm von der Kurbel entfernt- mehr als 600µm! Das ist so viel, dass man das Eiern der Spindel sogar mit dem bloßen Auge sehen kann.

Wie kriegen wir das aber wieder hin? Mit Gewalt!

Ich identifiziere im wesentlichen zwei Knickpunkte. Den einen bei x=20cm, und den anderen direkt hinter der Kurbel. Möglicherweise sind wir hier sogar selber dran Schuld gewesen. Ich erinnere mich, dass wir damals beim Transport der Maschine in der Tür steckengeblieben sind, weil die Kurbel nicht durch die Tür passte (siehe Reparaturbericht Teil1). Damals haben wir den Gewindestift natürlich einfach mit Durchschläger und Hammer herausgetrieben und konnten -im Kellereingang steckend- nicht erst noch groß Trenngabel und Spezialwerkzeug anfertigen. Die Kurbel musste runter und fertig und das mit dem gerade zur Verfügung stehenden Werkzeug! Das waren Splintentreiber und ein Hammer. Möglicherweise haben wir sie damals mit den Hammerschlägen also selber verbogen. Es ging damals aber leider nicht anders.





Abbildung 279: Rückblick: die Kurbel musste runter, denn so passte die Maschine nicht durch die Tür!

Wie auch immer: schlimmer als eine <u>vor</u> dem Lagerpunkt eiernde Kurbel ist der <u>hinter</u> dem Lagerpunkt eiernde Gewindeteil, denn hier greift die Spindelmutter und wird dadurch unnötig beansprucht (und klemmt).

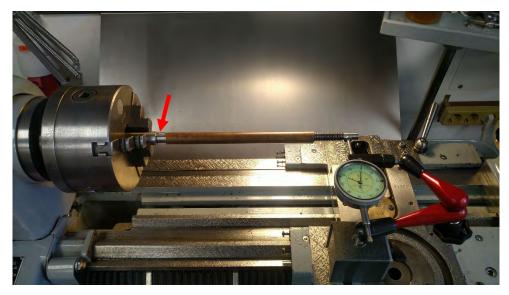


Abbildung 280: erstes Nachbiegen

Mein erster Ansatz ist es, die zu korrigierende Spindel freifliegend in die Drehmaschine einzuspannen, ein Kupferrohr auf die Spindel zu schieben und die Spindel per Hand zu richten. Das Kupferrohr dient dazu, dass ich das Drehmoment exakt an die vorher identifizierte Knickstelle bei x=20 einleite.

Das klappt schon ganz gut, wie meine danach durchgeführte Messung zeigt (blaue Kurve, Abbildung 278). Aber damit war ich noch nicht komplett zufrieden. In einer zweiten Runde greife ich beide Knick-Stellen nochmal an.



Abbildung 281: Einspannen im Schraubstock

Den kurzen Stummel, wo die Kurbel dransitzt, kriege ich tatsächlich nur mit derben Hammerschlägen wieder gerichtet.



Abbildung 282: Prügelstrafe für den Stummel

Aber es wirkt: am Ende gelingt es mir, die Spindel so wieder zu richten, dass die Abweichung unter 100µm TIR liegt (siehe Abbildung 278, orangefarbene Kurve).



Abbildung 283: Kontrolle mit der Messuhr

Natürlich sieht man immer noch den ursprünglichen Charakter der Knickstellen. Aber ich traue mich einfach nicht, noch weiter mit Hammerschlägen und aufgesteckten Rohren als Hebel mit Gewalt weiter auf die Spindel einzuwirken. Ich habe einfach zu viel Angst, hier am Ende noch mehr Schaden zu machen als Nutzen zu stiften.

Doch immerhin: mit einer Reduzierung von über 600µm auf unter 100µm habe ich hier definitiv was erreicht und bin mit dem Ergebnis zufrieden. Wie immer bei mir: nicht perfekt, aber definitiv besser als vorher.

War es das aber nun schon mit dem hakeligen Lauf? Nein. Es war aber eine wichtige Voraussetzung zum Ausmessen der Geometrie.

# 61 Sitz der Oberschlitten-Spindelmutter

Wie schon beim Querschlitten, blüht mir auch hier das Einpassen der Spindelmutter. Zuerst sorge ich dafür, dass alle Kontaktflächen der Spindelmutter auch wirklich parallel zur Spindelachse(!) selbst sind.

Bewährt hat sich bei mir dazu folgender Messaufbau:

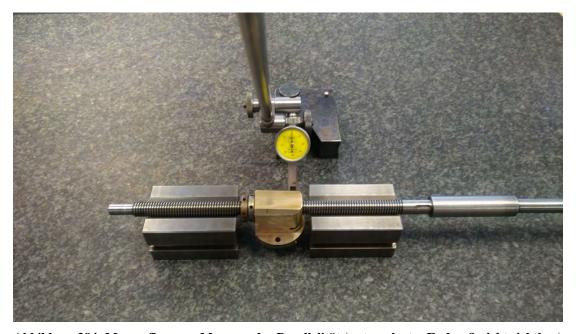


Abbildung 284: Messaufbau zur Messung der Parallelität (untergelegtes Endmaß nicht sichtbar)

Die Spindelmutter wird auf ihre (gerichtete!) Spindel geschraubt und in zwei V-Blocke gelegt. Mit einer Messuhr stellen wir sicher, dass beide Seiten der Spindel auch wirklich auf derselben Höhe liegen (paarweise geschliffene V-Blöcke verwenden). Damit die Spindelmutter während er Messung nicht kippelt, liegt ein sehr gefühlvoll ausgesuchter Endmaß-Stack unter der Mutter (Achtung: aufpassen, dass er nicht zu hoch ist und die Mutter ungewollt anhebt! Er soll nur das Kippeln verhindern!).

Dann fahre ich mit einem Fühlhebeltaster die beiden Befestigungs-"Ohren" der Mutter ab.



Abbildung 285: "Ohren" abfahren

Es zeigt sich, dass die Ohren auf ihrer Gesamtlänge von vielleicht 2cm bereits 40µm abfallen! Bedeutet: der Gewindegang ist nicht parallel zu seiner Anschraubfläche und die Mutter wird verkanten!

Wir korrigieren das mit Stufenschaben auf der Gegenseite....



Abbildung 286: Stufenschaben auf der Gegenseite

...um dann die Spindelmutter auf genau dieser Seite nach unten(!) auf die Flachschleifmaschine zu legen, um die Ohren dann genau dazu parallel zu schleifen.

Am Ende sieht das so aus:



Abbildung 287: geschliffene Ohren

Okay, nun wissen wir, dass die Oberfläche und die beiden Ohren auf der Unterseite ziemlich genau parallel zur Spindel-Bewegungsachse sind. Nun muss aber auch der Sitz der Mutter im Querschlitten dazu passen. Er muss in der Neigung passen, in der Höhe, und zugleich möglichst noch gut flächigen Kontakt haben, damit nichts wackelt.

Hohe Anforderungen!

# **62 Spindelmutter einpassen**

Wir passen die Spindelmutter also in ihren Sitz ein.





Abbildung 288: Einpassen mittels Tuschierfarbe und Dreikantschaber!

Das war ein ziemlicher Akt. Es stellte sich dabei heraus, dass Messuhr und Tuschierbild nicht zusammenpassen wollten. Der Grund war, dass die Mutter nur von den Seitenflächen (schräg!) geführt wurde und beim Einlegen in ihren Sitz daher sogar die bereits tiefere(!) Seite zuerst berührte. Hätte ich nicht nachgemessen, und nur stumpf nach Tuschierbild geschabt, wäre der Sitz immer schiefer geworden!

Ich habe also zuerst die Seitenwände rechtwinklig geschliffen.





Abbildung 289: Schleifen der Seitenflächen

Nachdem die endlich senkrecht zum Rest standen, sah das Tuschierbild auch anders aus:



Abbildung 290: endlich Kontakt auf beiden Seiten!

Nun wollte ich weitere Messungen an der Maschine machen und die Höhenlage ermitteln.

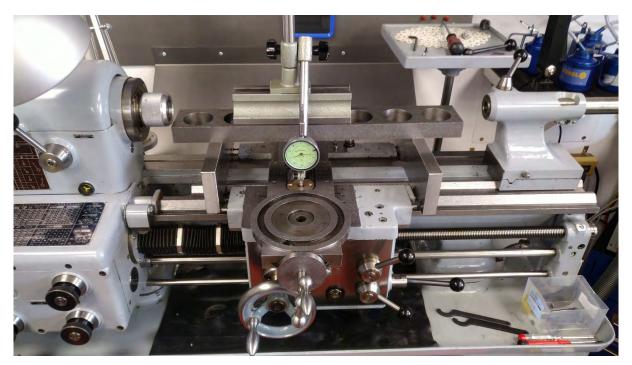


Abbildung 291: Höhenlage messen...schon wieder!

Doch auch hier erlebte ich komische Messwerte. Ich ging dem auf den Grund. Ergebnis: die Mutter setzt mit dem Gehäuse auf dem Boden der Querschlittens auf und gestattet daher nicht, die \*wirkliche\* Höhe der Mutter zu messen!



Abbildung 292: das Tuschierbild verrät: die Mutter setzt unten auf!

So wird das natürlich nichts. Also muss ich die Mutter so lange abschleifen, bis sie für die Messung frei im Sitz liegen kann.

Ein Job für die Flachschleifmaschine!

Ich bin ganz ehrlich: so wirklich gefällt es mir nicht, dass ich auch hier die Fläche der Einstellmuttern leicht mit überschleifen musste, aber eine andere Lösung sah ich hier nicht. Solange die Mutter während der Messung noch irgendwo unten aufsetzt, werde ich nie einen vernünftigen Messwert kriegen, um die korrekte Dicke der benötigten Unterleg-Folien zu bestimmen.



Abbildung 293: unten frei geschliffene Spindelmutter

Nach dem Freischleifen der Unterseite kann ich Messung endlich starten.



Abbildung 294: die Unterlagen sollen 250µm dick werden - sagt die Messuhr....

Ich mache es kurz, denn es scheint so, dass die Ermittlung mittels Messuhr nur ein grober Näherungswert für mich war. Die ermittelten 250µm erwiesen sich am Ende tatsächlich noch als zu wenig und wir werden final bei 450µm herauskommen!

Woher diese große Messabweichung kommt, kann ich leider nicht sagen. Vielleicht, weil die Mutter während der Messung mittels Schwerkraft nicht genau zentrisch (mittig) im Gewinde liegt, sondern primär nur auf die <u>Oberseite</u> der Gewindespindel kontaktiert- mir also einen zu "tiefen" Sitz vorgaukelt? Ich muss zugeben- ich weiß es nicht!

Was am Ende zum Erfolg geführt hat, war folgender, iterativer Ansatz!

Weil man unter der Mutter ja nicht messen kann und auch keine Fühlerblattlehre irgendwo zwischenstecken kann (man kommt nicht ran!), musste ich mir was anderes ausdenken, um zu prüfen, ob die Höhenlage der Mutter stimmt. Konkret geht es dabei, die korrekte Dicke der Unterlage zu bestimmen, die zwischen Mutter und Sohle gelegt werden muss, damit die Mutter möglichst zentrisch auf der Spindel sitzt und nicht durch Scherkräfte beansprucht wird.



Abbildung 295: Herstellen der benötigten Unterlagen für die Spindelmutter-am Ende werde ich mir jedoch ein 500µm dickes Stück ausgedientes Metallsägeband nehmen!

Denn wenn immer das passiert, wir der Lauf extrem schwergängig und jede noch so kleine Rundlaufungenauigkeit macht sich noch viel stärker bemerkbar als ohnehin schon bei korrekt eingepasster Mutter.

Ich beginne damit, mir zwei Unterlagen zu machen, die definitiv zu dick sind! Dafür nehme ich die Reste eines alten M42 Sägebandes meiner Bandsäge. Nachdem es mir kaputt ging, habe ich mir zwei oder drei 50cm-Stück davon abgeschnitten und für schlechte Zeiten aufbewahrt- also für heute!

Ich fertige zwei Unterlagen an (Hindernisse in der Herstellung, nur mit Diamantschleifwerkzeugen (Dremel) kriege ich das Loch in die Unterlage!) und messe ihre Dicke: ziemlich konstante 500µm! Damit fangen wir an!

Ich lege die Unterlagen auf die Sohle und lege die Spindelmutter ein. Ich ziehe die Befestigungsschrauben an und führe die Spindel ein. Schon beim Herankurbeln des Querschlittens merke ich zunehmend, wie das Kurbeln immer schwerer geht. Nahe der Anfangsposition (=Spindelmutter steht direkt von der Lagerstelle!) geht fast gar nichts mehr, so stark klemmt es.

Nun löse ich die beiden Schrauben der Spindelmutter. Sie kann damit also nun allen Kräften, die auf sie einwirken, folgen. Allen? Nein- nur fast! Und das ist der Trick!

Ich stelle während des Lösens eine Messuhr auf die Oberfläche der Spindelmutter. Es zeigt sich, dass das Lösen der Schrauben keine Änderung des Messwerts verursacht. Und trotzdem klemmt die Mutter nach wie vor!



Abbildung 296: die probehalber eingelegten Unterlagen- noch sind sie etwas zu dick!

Das bedeutet: die Mutter ist zu hoch!

## Grundlage der Beweisführung:

- 1. Da die Mutter klemmt, ist sie nicht zentrisch. Sie kann zu hoch oder zu tief sein.
- 2. Wäre die Spindelmutter zu tief, würde sie beim Lösen der Schrauben entspannen können und sich eine "bessere" Ruhelage suchen. Das sieht man dann, dass eine angelegte Messuhr zeigt, dass die Spindelmutter etwas aus ihrem Sitz hoch kommt. Und: hat sie diese neue Ruhelage gefunden, wird das Drehen der Spindel auf einmal schön leicht. (Es klemmt nichts mehr). Gegenbeweis: das Wieder-Anziehen der beiden Schräubchen drückt die Mutter wieder nach unten, denn dort befindet sich ja offensichtlich etwas Luft unter der Spindelmutter. Das überprüfen wir mit der Messuhr. Achja- und das Klemmen beginnt dann natürlich wieder.
- 3. Ist die Spindelmutter zu hoch (also die Unterlage zu dick), ändert sich der Messwert beim Lösen der Schräubchen NICHT, denn sie Spindelmutter kann ja nicht tiefer, weil sie durch die zu dicken Unterlagen daran gehindert wird. Und auch das Kurbeln ist weiterhin schwergängig.

Und genau diese Situation #3 habe ich.

Sehr gut, also ab mit den dicken Unterlagen auf die Flachschleifmaschine. Wir nehmen mal pauschal 50µm ab und sehen, was passiert.



Abbildung 297: die Unterlagen werden um 50µm dünner geschliffen

Wiedereinbau: wir schlittern in Richtung Situation #2!

Und damit weiß ich: die korrekte Dicke der Unterlage liegt zwischen 450 und 500µm!

Da das Anfertigen und Schleifen des dicken Sägeband-Materials nicht wirklich witzig ist, schnipsele ich mir zwei Streifen  $30\mu m$  Fühlerlehrenband ab und lege sie einmal zusätzlich zur  $450\mu m$ -Unterlage provisorisch mit unter.

Am Ende werde ich so tatsächlich einen prima Sitz finden und total begeistert kurbele ich den Querschlitten ständig zwischen vorne und hinten hin und her- weil ich es einfach nicht glauben kann, dass mir die Einpassung endlich gelungen ist!!!

# 63 Retroperspektive

Es ist nicht zu glauben- aber ich bin fertig! Eine nunmehr fast 1jährige Reise durch eine Maschinenrestauration kommt endlich ans Ziel.



Abbildung 298: Es ist geschafft! Sonnenaufgang 2020 in Wartjenstedt...



Abbildung 299:...und zum Vergleich Sonnenuntergang 2016 auf Key West:-)

Gestartet im Januar 2020 mit Lennart und einem Seat Alhambra mit AddBlue-Mangel in den Kasseler Bergen der A7, hat mich Wilma zwischenzeitlich sogar fast an den Rand einer kleinen Ehekrise gebracht.



Abbildung 300: Wilma Abschlussfoto 1



Abbildung 301: Wilma Abschlussfoto 2

Den Sinn, weshalb ich meine gute laufende Myford S7 verkaufen und mir Wilma kaufen musste, konnte ich meiner Familie bis heute nicht vollumfänglich vermitteln. Aus ihrer Sicht hätte ich mir damit einen Haufen unnötiger Arbeit ins Haus geholt und die Werkstatt damit auch einen deutlichen Rückschritt erlebt.

Ganz von der Hand weisen kann ich das Argument nicht. An Wilma war mehr zu tun, als ich es auf den ersten Blick sehen konnte. Trotzdem habe ich mit ihr nach nun fast einem Jahr Arbeit eine geometrisch komplett überholte Maschine, die allein von der Ausstattung her (Zugund Leitspindel mit Multiplikatorgetriebe!) meiner damaligen Myford natürlich überlegen ist.



Abbildung 302: Wilma Abschlussfoto 3

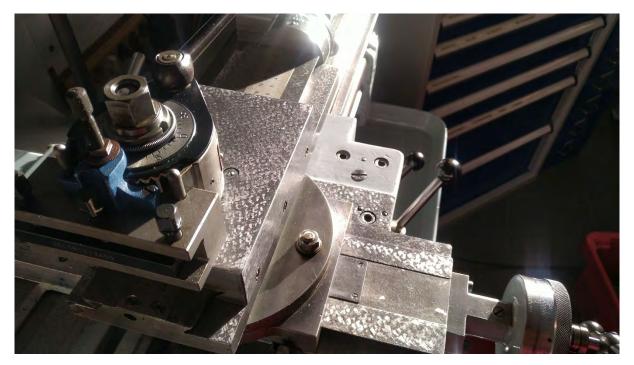


Abbildung 303: Wilma Abschlussfoto 4

Auch die deutlich größere Gewichtsklasse geht natürlich mit stark erhöhter Steifigkeit einher, was der erreichbaren Präzision zugute kommt, weil sich die Maschine durch den Schnittdruck des Meißels weniger verformt.



Abbildung 304: So sah meine Myford S7 aus- hier beim fliegenden Drehtest

Aber auch Wilma hat tatsächlich Nachteile: der Lauf der ganzen Lager, Getriebe und Zahnräder ist nicht so "wohnzimmerleise" wie die der Myford! Natürlich ist es schön, dass ich bei Wilma während des Betriebs Geschwindigkeiten umschalten kann und nicht einen Riemen umlegen muss wie bei der Myford, aber eben diese Getriebe erzeugen zwangsläufig auch Geräusche und hier geht der Punkt eindeutig an die froschgrüne Myford!

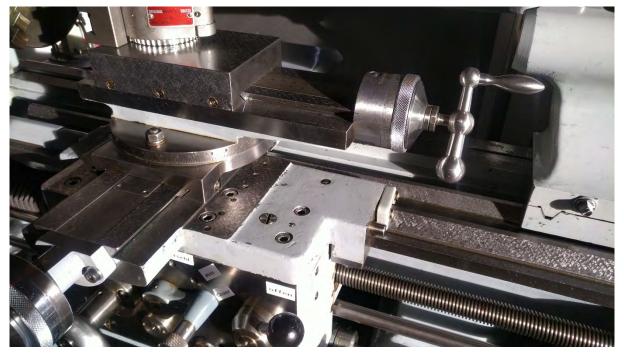


Abbildung 305: Wilma Abschlussfoto 5

Zusammenfassend kann ich nur sagen, dass der Weg beschwerlich war, aber sich dennoch in einiger Hinsicht für mich gelohnt hat.

Dass Wilma bereits eine Aufarbeitung hinter sich hatte, hat sich im Nachhinein nicht immer als "Hilfe" herausgestellt. Bandschleifer und Flex waren meinem Vorgänger definitiv kein guter Berater gewesen bei dem Durchführenden der letzten Maschinenaufarbeitung. Jedoch hat mich das oft dazu gezwungen, mich tiefer in die Messung und Herstellung der korrekten Maschinengeometrie einzuarbeiten, als es mir normalerweise lieb gewesen wäre.



Abbildung 306: Drehprobe (Foto: Max Michalzik)

Am Ende habe ich dadurch aber nicht nur eine Drehmaschine erhalten, die geometrisch wahrscheinlich präziser als viele andere ihren Alters ist, sondern konnte außerdem meine Fähigkeiten und Kenntnisse in Schabetechnik und auch der Vermessung mechanischer Geometrien deutlich voranbringen.

Dass ich dadurch über Nacht nicht zu einem guten "Dreher" geworden bin, dürfte dennoch klar sein. Aber mit der aufgemöbelten Wilma habe ich wenigstens eine ehrliche Chance, vielleicht irgendwann einmal einer zu werden.

Oder auch nicht ;-)	Oder	auch	nicht	:-)
---------------------	------	------	-------	-----

Apropos....

# **64 Drehtest**

Nun kann ich Euch natürlich nicht gehen lassen, ohne am Ende auch mal gezeigt zu haben, dass Wilma nun auch endlich "echte" Späne erzeugen kann!

Ich habe mir also ein 20mm Rundmaterial mit der Bezeichnung "42CrMos4" eingespannt und zum Ziel gemacht, es möglichst genau auf 16mm abzudrehen. Wenn möglich, mit ein ganz bisschen Untermaß, denn es sollte in eine Bohrung mit Durchmesser 15,98mm passen.



Abbildung 307: Drehergebnis, Messung vorne



Abbildung 308: Drehergebnis, Messung hinten

Ich benutzte eine DCMT Wendeschneidplatte mit mir unbekannter Herkunft (China), und auch sonst unbekannten Eigenschaften. Das alles zusammen in einem ebenfalls chinesischen Halter auf einem schweizerischen Multifix A auf der urdeutschen Wilma.

Und ein weiterer Beweis, dass "Multi-Kulti" und "Vielfalt" trotz aller Hürden und Vorurteile funktionieren kann: es entstehen zwar furchtbare, meterlange Fließspäne, aber das Finish auf dem Werkstück wird trotzdem spiegelblank!

Über 5cm Länge werde ich am Ende nur noch eine Nicht-Parallelität von 3µm nachmessen und auch die angestrebten 15,990mm treffe ich bereits im ersten Versuch auf 10µm genau! Noch vor kurzer Zeit für mich unvorstellbar, so ein Maß so präzise und gleichmäßig herstellen zu können!

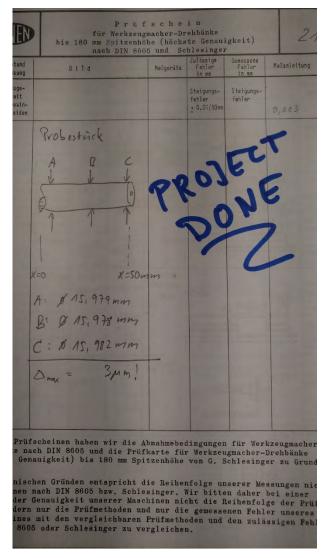


Abbildung 309: Probestück nachgemessen- Projekt geschafft!

Nun fehlt eigentlich noch eine komplette Qualifizierung von Wilma entlang des Leinen Prüfscheins (bzw. nach Schlesinger). Das werde ich bestimmt irgendwann noch einmal machendoch momentan freue ich mich einfach nur, dass ich das Projekt endlich abschließen kann!

Danke an Euch alle für Eure Unterstützung und fürs Mitlesen!

# 65 Ausblick

Mögliche Arbeitspakete rund um Wilma, falls es mir mal langweilig werden sollte:

- 1. Finale Vermessung nach Schlesinger Norm
- 2. Präzisions-Nachschaben des Reitstocks (die letzten 30µm wegschaben)
- 3. Präzisions-Nachschaben des Spindelstocks (damit Wilma auch "sicher" konkav dreht)
- 4. Bau eines festen Toolpost (ohne Oberschlitten) mit Multifix A
- 5. Nachrüsten einer digitalen Koordinatenanzeige
- 6. Umbau auf Frequenzumrichter (und Sanftanlauf)
- 7. Einbau einer Drehzahlanzeige (Tachometer)
- 8. Einbau neuer Ölstandsgläser (die alten scheinen etwas zu lecken)
- 9. Einbau eines ordentlichen Flachriemens (verklebt)

Aber keine Angst, geplant ist bislang nichts.

Bis auf das eine oder andere vielleicht....;-)

Es grüßt Euch Marc Michalzik, NOV 2020

# 66 Schlussbild



Abbildung 310: Abschlussbild, aufgenommen auf einem "offline Rennsteig Halbmarathon 2020" während der Strecke in den Hildesheimer Wiesen

# 67 Nachtrag

Noch nach Abschluss der eigentlichen Arbeiten stolperte ich darüber, dass eine der beiden Klemmschrauben für den Oberschlitten trotz kräftigen Anziehens ihn nicht richtig fest fixiert.

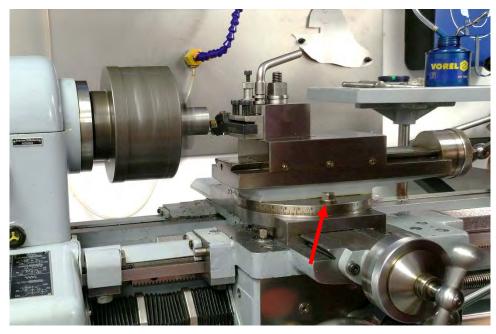


Abbildung 311: über diese Klemmschraube reden wir

Das störte mich und ich untersuchte die Spannschrauben einmal etwas genauer. Es zeigte sich, dass keine der beiden Spannschrauben weder original war noch die richtige Form hatten. Es schienen beide schlechte(!) Nachbauten des Originalteils zu sein.





Abbildung 312: Klemmschrauben (vlnr): Nachbau1, Nachbau2, Original

Das Problem mit diesen Nachbauten ist, dass ihre geschliffenen Seitenflächen nicht der runden Führungsbahn folgen, sondern ganz stumpf "gerade" sind. Legt man diese Spannschrauben also in die gebogene Nut, liegt die Spannfläche nur an zwei kleinen Punkten vorne und hinten an und nicht an der gesamten Fläche. Daher hält sie auch nicht!



Abbildung 313: Originalteil von FKW Kilgenstein

Und noch schlimmer: infolge der Konzentration der Klemmkraft auf nur zwei Punkte entsteht eine Punktbelastung, die die Flanken dieser Nut überlasten und sie ausbrechen kann. Ganz kleine Vorläufer solcher Ausbrüche sind bereits jetzt bei genauem Hinsehen schon erkennbar!



Abbildung 314: so sollte das korrekterweise aussehen!

Ich fackele nicht lange und frage zwei neue Spannschrauben bei FKW Kilgenstein an. Innerhalb weniger Stunden erhalte ich ein Angebot, das ich sofort annehme. Natürlich sind die Spannschrauben jetzt nicht "geschenkt", aber bevor ich mir mit falschen Spannschrauben noch meine Oberschlittenführungen kaputtmache, macht es jetzt überhaupt keinen Sinn, hier am falschen Ende zu sparen. Ich bin sehr froh, dass es diese Schrauben bei FKW Kilgenstein überhaupt zu kaufen gibt und bezahle daher die Rechnung schon fast mit "großer Freude." :-)

Eine weitere kleine Änderung mache ich noch an den Ölschaugläsern. Insbesondere weil ich sie im Verdacht hatte, leicht undicht zu sein, bestellte ich neue. Die beiden am Spindelstock haben dabei ein 3/8Zoll-Gewinde und die am Multiplikator sowie Schlosskasten 1/2 Zoll.





Abbildung 315: links: alte Ölschaugläser; rechts: die neuen



Abbildung 316: das Ölschauglas am Multiplikator hat 1/2" Gewinde

Erst nach dem Einschrauben bemerke ich, welche nachezu unglaubliche Verbesserung mir die neuen Ölaugen zusätzlich bringen: die Ablesbarkeit des Ölpegels im Schauglas ist nun super! Die alten Kunstoffschaugläser hatten sich im Laufe der Jahre offensichtlich so eingetrübt, dass zwischen dem Glas und dem Niveau des Ölpegels kaum mehr ein Farbunterschied mehr zu sehen war. Die alten Teile landen daher sofort im Mülleimer!

Kurz vor Schluss mache ich noch eine weitere Drehprobe mit fliegend eingespanntem Baustahl. Ich erhalte nun eine spiegelblanke Oberfläche. Sehr schön sieht man in Abbildung 317 noch den Unterschied im Drehergebnis zur alten Maschine (Myford). Die geschabten Führungsflächen und auch die größere Steifigkeit der viel schwereren Leinen zahlen sich hier einfach aus.

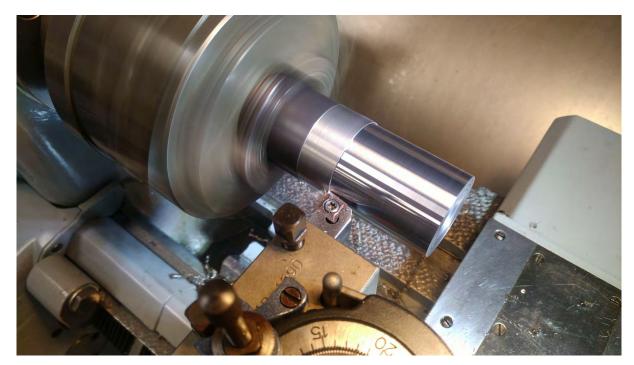


Abbildung 317: Drehergebnis

Schließlich stört mich an der MLZ4S aber doch noch etwas: zusammen mit einem Multifix A-System kann ich höchstens 10mm Drehmeißel einspannen. Nehme ich dickere, kann ich sie nicht mehr weit genug nach unten stellen, um noch die Drehmitte zu treffen.

Also beschließe ich, mir einen Solid Toolpost zu bauen. Grundlage ist ein 150mm breiter und 80mm hoher Graugussklotz.



Abbildung 318: ich denke, so ein Klotz ist selbst für diese Maschine schon bald das "Limit"

Ich möchte hier jetzt keine Anleitung für den Solid Toolpost bringen. Aber dies ist eine sehr gute Gelegenheit, zu prüfen, ob die Maschine auch wirklich plan dreht.

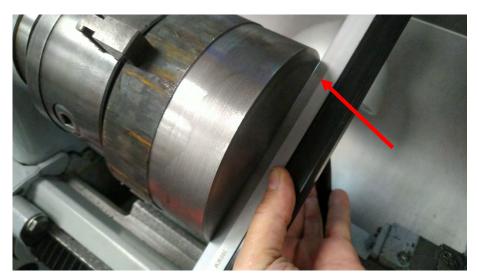


Abbildung 319: das Haarlineal zeigt ganz wenig Licht am Rand

Laut Schlesinger darf eine Präzisions-Maschine auf 150mm Radius (d.h. 300mm Durchmesser) um bis zu 30µm hohl drehen. Wilma dreht über die gesamte Fläche auf zwar auf unter 10µm parallel, zeigt aber Hinweise auf eine ganz kleine Tendenz zur Balligkeit. Das wäre nach Schlesinger nicht zulässig.

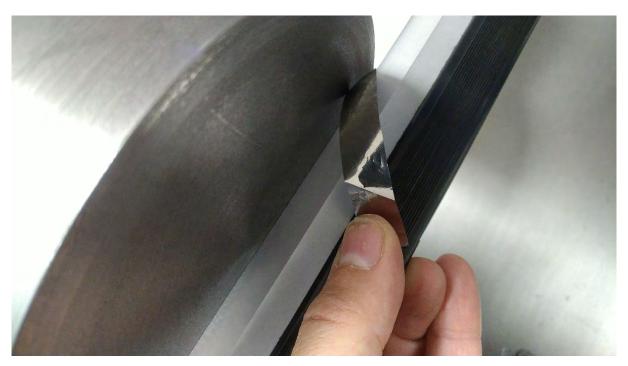


Abbildung 320: der Spalt ist aber kleiner als 10µm, denn das Fühlerband passt nicht dazwischen

Das will ich genauer wissen. Ich lege diese gedrehte Fläche (nach 1x Aufrauh-Schaben im Kreuzgang ) auf die Tuschierplatte.

## Heraus kommt das da:

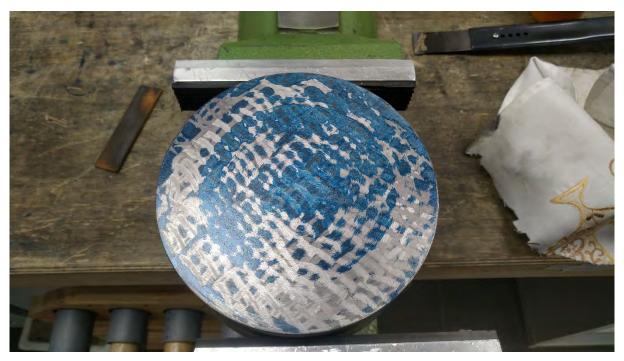


Abbildung 321: Tuschierbild nach dem Plandrehen

Nun habe ich keinen Vergleich, wie das bei anderen Maschinen jetzt aussähe. Aber wenn die Fläche wirklich komplett ballig wäre, würde das Werkstück über den erhabenen Mittelpunkt in alle Richtungen kippen und dort überall Tuschierfarbe aufnehmen. Das tut sie aber nicht, denn es gibt am Rand auch Bereiche, die keine Farbe annehmen. Damit könnte es sich hier eher um Effekte eines Axialspiels (bzw. Unwucht) handeln denn um ein balliges Drehen.

Wie immer es auch ist: das Ergebnis finde ich dennoch so gut, dass ist absolut damit zufrieden bin. Und man darf nicht vergessen, das das verwendete Drehfutter auch schonmal bessere Zeiten gesehen hat und vielleicht die Ursache dafür ist.

Das war's jetzt aber wirklich :-)



Abbildung 322: Ich beim Werkstattsaugen. Foto: Max Michalzik

## 68 Disclaimer

#### Hinweise

- 1. Wer auf dieser Grundlage bastelt, bastelt auf eigene Gefahr!
- 2. Das hier ist ein privat und hobbymäßig zusammengestellter Reparaturbericht. Ich übernehme keine Garantie für die Korrektheit der hier beschriebenen Inhalte.
- 3. Ich übernehme keine Folgekosten, die durch evtl. Anwendung der hier beschriebenen Informationen entstehen könnten.
- 4. Das Basteln in elektrischen Geräten kann für nicht Sachkundige ein hohes Risiko von Verletzungen aller Art bedeuten. Sollten Sie nicht sachkundig sein, lassen Sie bitte lieber die Finger davon.
- 5. Die kommerzielle Nutzung des hier beschriebenen Wissens ist nicht vorgesehen.
- 6. Alle Meinungsäußerungen (insbesondere über Firmen oder Hersteller) sind stets rein subjektiver Natur und spiegeln nur meine eigenen Erfahrungen oder persönlichen Vorlieben wider. Sie sind weder als Werbung noch Verunglimpfung dieser Firmen oder Hersteller zu verstehen, sondern als persönliche Meinungsäußerung aufzufassen.
- 7. Vor dem Veröffentlichen meiner Berichte bemühe ich mich stets im Vorfeld um eine Zustimmung der in meinen Berichten vorkommenden Personen/ Firmen. Wenn Sie der Meinung sind, dass das in Ihrem Fall einmal (unabsichtlich!) vergessen wurde und über bestimmte Darstellungen oder Beschreibungen verärgert sind, so setzen Sie sich zur Problemlösung bitte zuerst direkt mit mir in Kontakt (und nicht gleich mit Ihrem Anwalt ;-).

Die Berichte wurden von mir nach bestem Wissen und Gewissen erstellt.

#### Disclaimer

Alle Artikel unterliegen dem deutschen Urheberrecht. Keine unerlaubte Vervielfältigung, Aufführung, Weitergabe, Druck. Eine kommerzielle Nutzung des hier beschriebenen Wissens ist nicht vorgesehen. Weiterhin übernehme ich weder Gewähr für die Richtigkeit der Inhalte noch übernehme ich Haftung für Risiken und Folgen, die aus der Verwendung/Anwendung der hier aufgeführten Inhalte entstehen könnten. Nicht-Sachkundigen rate ich generell von Eingriffen in elektrische Geräten und Anlagen dringend ab! Insbesondere verweise ich auf die strikte Einhaltung der aktuell gültigen Sicherheitsvorschriften von VDE und Berufsgenossenschaft über die elektrische Sicherheit!

### Rechtliche Absicherung

Grundsätzlich berufe ich mich bei meinen Dokumenten auf mein Menschenrecht der freien Meinungsäußerung nach Artikel5, Absatz1 des Grundgesetzes. Dennoch mache ich es mir zu eigen, von den in den Berichten namentlich vorkommenden Personen vor der Veröffentlichung eine Zustimmung einzuholen. Wenn Sie jedoch der Meinung sind, dass Sie persönlich betroffen sind und das in Ihrem Fall versäumt wurde, und Sie sind darüber verärgert, so bitte ich um eine umgehende Kontaktaufnahme (ohne Kostennote!) mit mir. Das gilt auch für den Fall, wenn meine hier bereitgestellten Ihnalte fremde Rechte Dritter oder gesetzliche Bestimmungen verletzen sollten. Ich garantiere, dass die zu Recht beanstandeten Passagen unverzüglich entfernt werden, ohne dass von Ihrer Seite die Einschaltung eines Rechtsbeistandes erforderlich ist. Dennoch von Ihnen ohne vorherige Kontaktaufnahme ausgelöste Kosten werde ich vollumfänglich zurückweisen und gegebenenfalls Gegenklage wegen Verletzung vorgenannter Bestimmungen einreichen.

## Haftung shinwe is e

Trotz sorgfältiger inhaltlicher Kontrolle übernehme ich keine Haftung für die Inhalte externer Links. Für den Inhalt der verlinkten Seiten sind ausschließlich deren Betreiber verantwortlich.

### Kontakt:

Marc.Michalzik@bymm.de

Dieser Artikel unterliegt dem Urheberrecht. © ®. Alle Rechte vorbehalten. Keine Vervielfältigung, Nachdruck. V1\_49., Marc Michalzik. NOV2020