

Inhaltsverzeichnis:

1. Die Ideenfindung (S. 2-3)
2. Der Bau des Umlaufgetriebes (S. 3-11)
3. Der Antrieb (S. 11-18)
4. Das Zeigerwerk (S. 19-26)
5. Die Neue Platine (S. 27-30)
6. Berechnung des Planetengetriebes (S. 31-33)

Konstruktions- und Fertigungsbericht

1. Die Ideenfindung

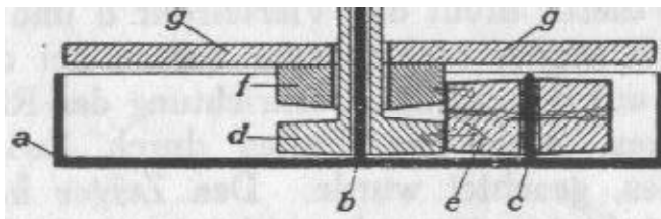
Zu Anfang möchte ich Ihnen erst einmal meine Idee vorstellen.

Den Anfang dieses Projekts bildete bei mir eine Zeit der Ideensammlung, in der ich viele Texte und Artikel über verschiedene Gangreserveanzeigen gelesen habe. Ich versuchte mir während dieser Zeit etwas auszudenken, was es so noch nicht gegeben hatte. Allerdings merkte ich schnell, dass jede Idee, die ich hatte, entweder nach genauerer Überlegung für mich oder überhaupt nicht umzusetzen war, oder ich las kurz darauf einen Artikel, in dem jemand schon die selbe Idee gehabt hatte. Also entschied ich mich, eine schon vorhandene Grundidee zu benutzen, und diese mit meinen eigenen Mitteln umzusetzen.

Am Ende dieser Zeit, die etwa drei Wochen in Anspruch nahm, stand daher die Entscheidung, dass ich ein Planetenumlaufgetriebe bauen wollte, da dieses für mich am herausforderndsten erschien. Mir war zwar klar, dass ich Mechanismen wie eine konische Tasterscheibe oder ähnliche einfacher und wahrscheinlich auch sauberer herstellen könnte, da diese weniger Bauteile und Lagerungen benötigen. Allerdings war mein Anspruch, etwas zu bauen, was mich vollends fordern würde und bei dem ich danach stolz auf mich sein könnte, mich an dieses herangewagt zu haben.

Also suchte ich nach einer Variante, die ich mit meinen Mitteln herstellen könnte. Ich stieß nach längerer Suche auf ein Getriebe, bei dem ich mit einigen Änderungen eine Chance sah, es herzustellen. Die Idee beruht auf dem Prinzip der Drehganguhr nach Stanley. Dazu hier ein kurze Erläuterung.

Die Idee dieses Systems beruht darauf, die Drehung des Sperrrades (a) beim Aufziehen zu nutzen. Dieses wird mit Zuhilfenahme eines darauf befestigten exzentrischen Triebes (e) gemacht, das ein mittig sitzendes Trieb (d) beim Aufziehen dreht, während Trieb f dabei stillsteht. Trieb f bietet e dabei Widerstand, da es mit dem Laufwerk verbunden ist. Beim Ablauf der Uhr kommt nun eine Bewegung von g und überträgt diese an das an g starr befestigte Trieb f. Dieses überträgt nun die Drehung an das auf einem nun starr stehenden Sperrrad (b) sitzende Trieb e welches sie wieder auf d überträgt.



a: Sperrrad

b: Lagerung des Triebes d

c: Lagerung des Triebes e

d: Mitteltrieb mit langer Welle

e: Planetentrieb

f: oberer Mitteltrieb, der mit g fest verbunden ist

g: Rad, das einen direkten Kontakt mit dem Laufwerk hat und von diesem angetrieben wird

Sorgt man nun dafür, dass die Winkelgeschwindigkeiten von d beim Ablauf und Aufzug gleich sind und das die Drehrichtung vom Sperrrad a und dem Rad g, das mit dem Laufwerk verbunden ist, unterschiedlich sind, so kann man an die verlängerte Welle von d ein Zeigerwerk anbringen und hat eine Gangreserve.

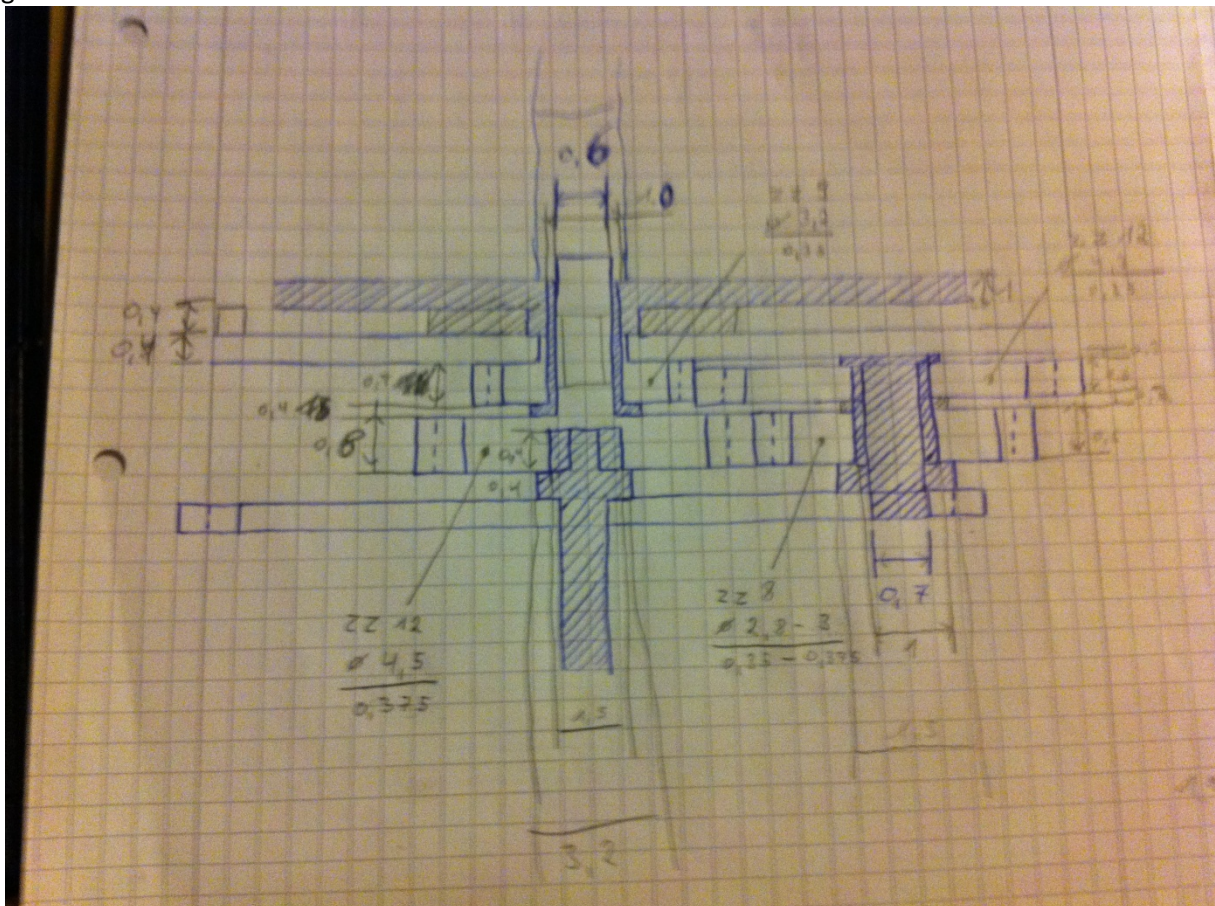
Ich überlegte also, wie ich dieses umsetzen könnte, und kam als erstes darauf, dass ich für g ein ETA-Antriebsrad verwenden könnte, das über ETA-Minutenradtriebe mit dem normalen Antriebsrad verbunden ist. Diese Überlegung rührte daher, dass ich auf diese Weise einer Umdrehung beim Aufzug des Sperrrades a eine Umdrehung beim Ablauf des Antriebsrades g gegenüberstellen könnte.

Als nächstes ging es daran, die Triebe f, d und e (der bei mir aus 2 verpressten Trieben besteht) so zu berechnen, dass ich sie in meiner Schule in Restbeständen von alten Großuhrtrieben finden könnte, da ich keine Fräse zur Verfügung hatte, um mir die passenden Triebe für das System selbst anzufertigen. Mehr zu den Zähnezahlen bei den angefügten Berechnungen.

2. Der Bau des Umlaufgetriebes

Im ersten Schritt machte ich mich an den genaueren Entwurf des Umlaufgetriebes und suchte in Schulbeständen nach alten Großuhrtrieben mit den richtigen Durchmessern und Zähnezahlen, die ich so gewählt hatte, dass die Wahrscheinlichkeit möglichst hoch war, passende zu finden. Nach langem Planen, Rechnen und Zusammensuchen der Teile hatte ich dann alle Triebe zusammen, die ich benötigte. Außerdem konnte ich meinen Plan umsetzen und den Antrieb mit einem zweiten ETA-Antriebsrad und ETA-Minutenradtrieben verwirklichen.

Hier einer der ersten Originalentwürfe, bei dem die Zähnezahlen und die Durchmesser schon größtenteils mit bedacht waren:



Als die Entscheidung nun getroffen war, der erste Entwurf stand und ich die passenden Großuhrtriebe hatte, machte ich mich daran einige Versuche zwecks Eingriffstiefen und Zahnlüften zu unternehmen. Während dieser ergaben sich einige Probleme. Daher war ich gezwungen, ein verdrehbares Lager für den umlaufenden Trieb zu bauen. Diese Fehler resultierten daraus, dass ich die Lagerung nicht genau genug einbringen konnte bzw. die Triebe nicht exakt genug waren um den errechneten Achsabstand zu verwenden.

Bild: Die Großuhrtriebe, die ich wie an dem markierten zu erkennen ist, zersägt habe und anschließend in der Drehbank weiter bearbeitet habe.



Die folgenden Bilder zeigen die Umarbeitung und Endform der einzelnen Triebe. Hierbei habe ich nicht jede Bearbeitung einzeln beschrieben. Ich habe allerdings versucht, die Grundvorgehensweise, die immer ähnlich war, anhand des flachen Planetenriebes zu erläutern und die einzelnen Besonderheiten aufzuzeigen.

Bild: Das Abdrehen der Welle. Dabei habe ich das Trieb selber eingespannt, um zu gewährleisten, dass der Rest der Welle, auf die ich es zur weiteren Bearbeitung gespannt habe, gerade zum Trieb läuft.



Bild: Anschließend habe ich das Trieb umgedreht, flachgedreht und gebohrt.



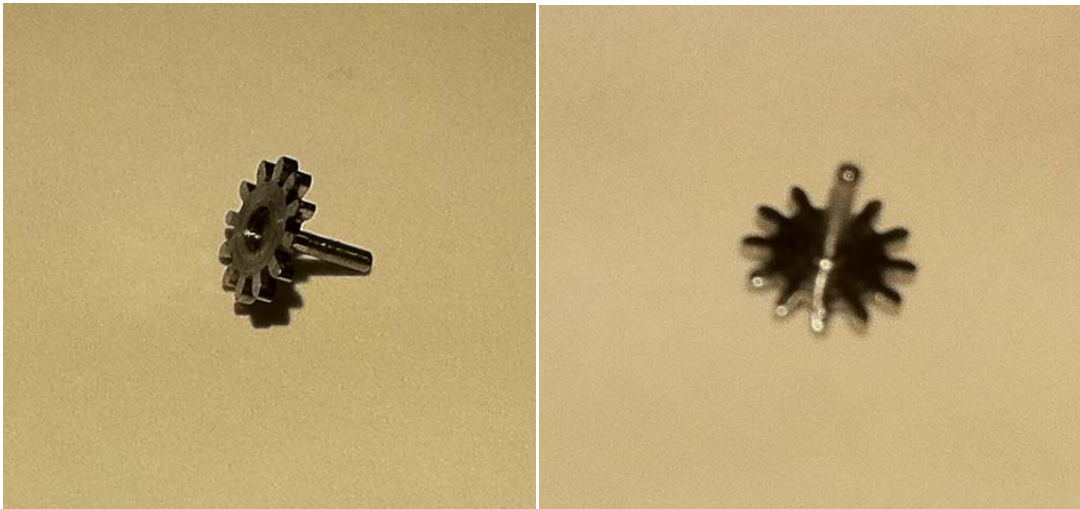
Bild: Dieses Bild zeigt das flache Umlauftrieb, das ich aufgelackt habe, um die zweite Seite flach zu drehen.



Bild: Die fertigen umlaufenden Triebe bestehen aus zwei flach- und ausgedrehten Trieben, von denen das eine einen Ansatz hat, auf den das Zweite aufgepresst ist.



Bild: Das Mitteltrieb mit langer Welle und einer Ausdrehung auf der Unterseite.



Vom vierten Trieb habe ich leider kein Einzelbild mehr, da ich es schon eingepresst hatte. Es ist aber noch später noch im eingepressten Zustand zu sehen und sitzt im zweiten Antriebsrad.

Um das Antriebsrad zu bearbeiten, habe ich mir eine Spannvorrichtung aus PVC gebaut, in die ich das Antriebsrad eingepresst habe. Anschließend habe ich einen Teil der Federhauswandung abgedreht und eine Stahlhülse eingepresst, da das Loch im Federhaus größer war als die Welle des Triebes. Diese Stahlhülse habe anschließend flach- und ausgedreht, um auf das gewünschte Maß, die das einzupressende Trieb hatte zu gelangen, und gleichzeitig zu gewährleisten, dass das Loch nicht durch eine ungerade Einpressung schief wird.

Bild: Die Bearbeitung des Antriebsrades mit Hilfe einer PVC-Vorrichtung und eines Dreibackenfutters.



Anschließend habe ich in das Antriebsrad das dazugehörige Trieb mittels eines Ansatzes am Trieb in eingepresst. Hier das fertige Antriebsrad mit eingepresstem Trieb.



Als nächstes war die Bearbeitung des Sperrrades an der Reihe, da dieses ja die Lagerung des Umlauftriebes bekommen sollte. Dieses gestaltete sich allerdings schwerer als erwartet, da es aus sehr hartem Stahl bestand: also hatte ich keine andere Möglichkeit, als es vor dem Bearbeiten anzulassen. Um die Lagerung dann herzustellen, habe ich das Sperrrad mit einer stufenweisen Ausdrehung versehen und anschließend ein exzentrisches Tellerlager angefertigt, das ich dort eingepresst habe. Ich habe mich hier für ein verdrehbares Exzenterlager entschieden, da ich so die Möglichkeit, hatte den Achsabstand im Nachhinein zu korrigieren.

Bild: Das Sperrrad mit Exzenterlager für das Umlauftrieb.



Anschließend habe ich das Umlauftrieb mittels eines Messingstiftes in die Lagerung eingepresst.



Im nächsten Schritt habe ich das Sperrrad mittels eines Stiftes, der gleichzeitig als Lagerung für das mittlere Trieb dient, in einem ausgebohrtem Federkern befestigt. Ich habe an dieser Stelle eine verpresste Halterung gewählt, da sich eine Schraube an dieser Stelle lösen könnte. Dieser Stift ist außerdem mit einer Bohrung versehen, damit man ihn wieder aus dem Federkern auspressen kann.

Bild: Der Befestigungsstift des Sperrrades.



Anschließend habe ich das Sperrrad zum ersten mal aufgesetzt und den Eingriff zum Mitteltrieb mit langer Welle eingestellt.



Im folgenden Schritt habe ich eine zweite Federhausbrücke mit Stegen versehen und das zweite Antriebsrad mit dem eingepressten Trieb mittels einer durchbohrten Hülse drehbar in diese eingepresst. Ich habe versucht diese Hülse einzeln zu fotografieren; allerdings ist mir dieses wegen ihrer Größe leider nicht gelungen, ihre Zeichnung ist aber den Skizzen beigelegt.

Bild: Die zweite Federhausplatine mit eingepressten Füßen und eingepresstem Antriebsrad. (Dieses Bild entstand allerdings zu einem späteren Zeitpunkt, was man an den bereits vorhandenen Lagern für die Antriebswellen erkennen kann.)



Als nächstes testete ich den Grundaufbau des Planetengetriebes mit verschiedenen Achsabständen und merkte bei diesen Versuchen, dass sich das Antriebsrad sich sehr schief stellen konnte. Um dieses zu begrenzen, brachte ich drei Stifte von oben in die Brücke ein.



Dieses Bild ist etwas später entstanden. Allerdings sind die Stifte, die ich in die Löcher eingepresst habe hier am besten zu erkennen. Diese Löcher habe ich mit Hilfe eines Höhensupports eingebohrt.



3. Der Antrieb

Als der Teil des Umlaufgetriebes nun in seiner Grundform stand, machte ich mich an den vorher nur grob entworfenen Antrieb. Bei diesem stand bisher nur fest, dass ich zur Übertragung ETA-Minutenradtriebe nehmen würde. Die vorherige Planung war mir kaum möglich, da ich keine genauen Daten zum Abstand zwischen den beiden Antriebsrädern hatte, da sich dieser bei der Herstellung erst genau ergab, da ich beim Fertigen einige Maße leicht ändern musste.

Da sich ein Richtungswechsel in der Übertragung zwischen den beiden Antriebsrädern vollziehen musste, entschied ich mich dafür, zwei Wellen mit jeweils zwei Minutenradtrieben zu bauen, da sich damit der Richtungswechsel vollziehen ließ, ich die Höhe überbrücken konnte und der Achsabstand zwischen den Antriebsrädern und den jeweiligen eingreifenden Trieben trotzdem möglichst gleich blieb.

Als erstes begann ich damit, die Minutenradtriebe abzudrehen und anschließend auszdrehen.



Für die erste Welle, die in das Antriebsrad zwei greift, benutzte ich eine original ETA-Minutenwelle, die ich einseitig abdrehte, um einen Ansatz für das zusätzlichen Minutenradtrieb und einen Zapfen zur Führung in der oberen Platine zu erhalten.



Bild: Die fertige Welle mit aufgespresstem zweitem Minutenradtrieb und rollierten Zapfen.



Die zweite Welle habe ich komplett angefertigt und anschließend zwei Triebe aufgespresst.

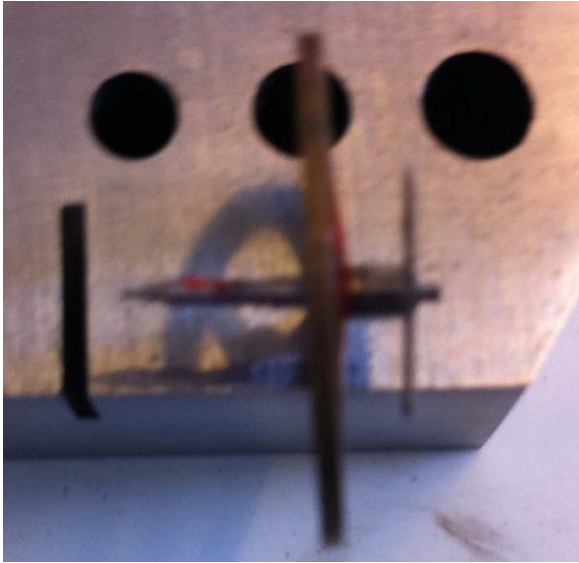
Bild: Die Rohwelle ohne aufgespresste Triebe und ohne rollierte Zapfen.



Bild: Die fertige Welle.



Um die Zapfen der Wellen rollieren zu können, musste ich mir etwas einfallen lassen, da ich die Wellen weder in einen Zapfenrollierstuhl noch in einen Pivofix einspannen konnte, da die Stifte, die die Welle beim rollieren mitdrehen sollten, in den Trieben nicht gegriffen haben. Aus diesem Grund habe ich die Wellen mit Siegelack in einen alten Wecker-Unruhreif bzw. in ein altes Wecker-Minutenrad eingelackt, um sie dann rollieren zu können. Das folgende Bild zeigt eine auf diese Weise eingelackte Welle, allerdings die Zeigerwelle die ich später angefertigt habe. Ich musste aber dieses Bild zur Verdeutlichung wählen, da die anderen leider noch schlechter geworden sind.



Obwohl ich den Pivofix nicht gerne benutze, habe ich mich entschieden, ihn statt des Hand-Zapfenrollierstuhls zu benutzen, da die Wellen durch das große Rad zu viel gewackelt haben und ich sie im Pivofix besser justieren und unter Kontrolle halten konnte.

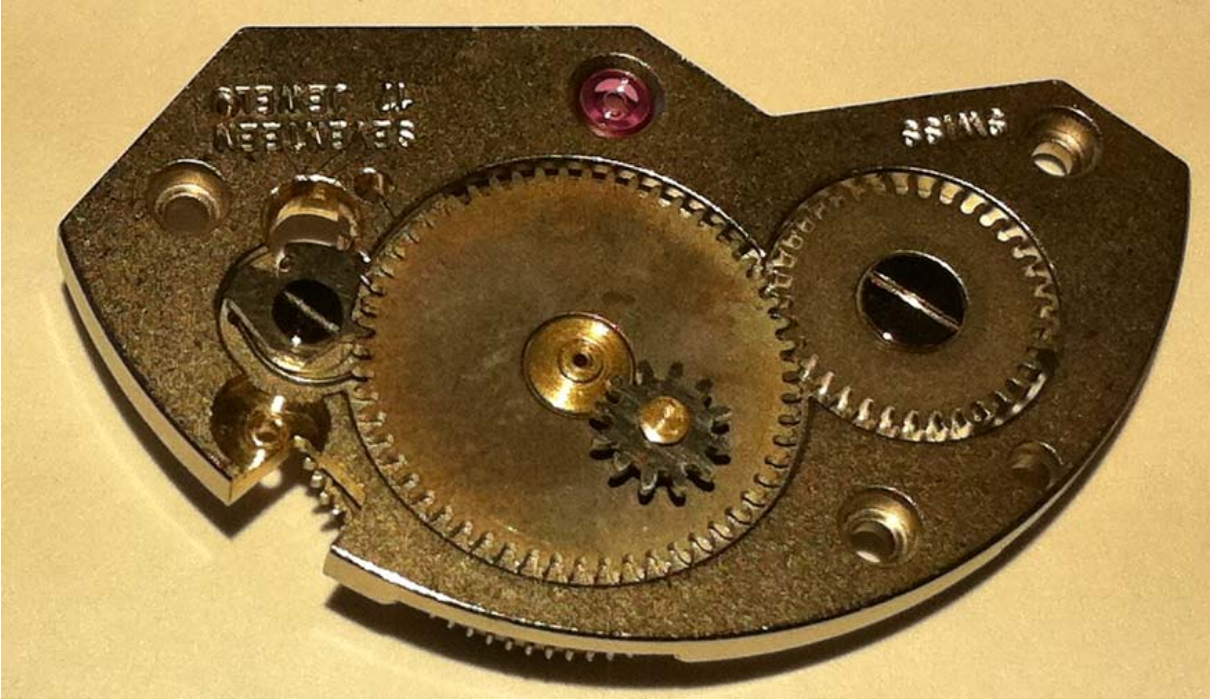
Bild: Das Rollieren der eingelackten langen Antriebswelle mit Hilfe eines Pivofix.



Anschließend habe ich Lagerungen für diese Wellen in die drei Platinen eingebracht. Dabei ließen sich für mich verdrehbare Lagerungen nicht vermeiden, da sich die vorher errechneten Achsabstände als nicht funktional heraus stellten und ich keinen Eingriffszirkel hatte, in dem ich den Eingriff zweier so kleiner Triebe erproben konnte.

Als erstes habe ich die Löcher für die Lagerungen gebohrt und anschließend ausgedreht, außerdem habe ich noch Ausdrehungen in die Platinen eingebracht und einen Ausschnitt eingefeilt, damit die Wellen an die Antriebsräder gelangen konnten. Hier nur ein par Bilder dazu, da jede Platine einzeln zu zeigen sehr viele Bilder in Anspruch genommen hätte.







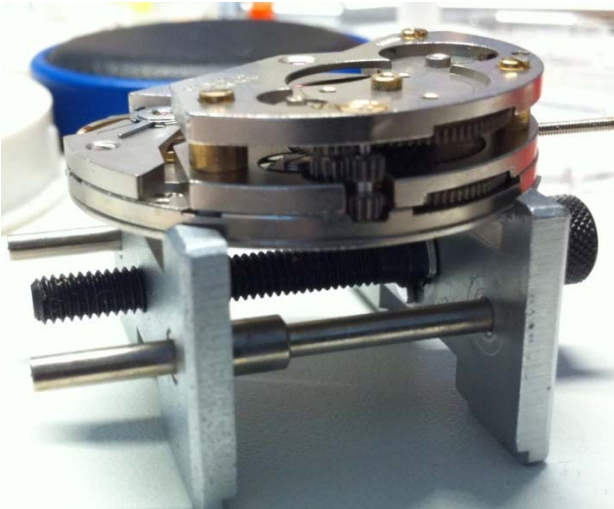
Als diese Arbeiten abgeschlossen waren, konnte ich schließlich die Lager anfertigen, einsetzen und genauere Anpassungen an den Teilen vornehmen. Die folgenden Bilder zeigen die erste Montage der Antriebswellen, bei der ich noch einige Veränderungen an den Platinen vornehmen musste, wie zum Beispiel ein Stück der Sperrklinke abfeilen, da sie sonst eine der Antriebswellen beim Aufziehen blockiert hätte.

Bild: Dieses Bild zeigt eines der Verdrehbaren Lager welche ich für die Antriebswellen hergestellt habe.





Anschließend konnte ich das komplette System, nach Einstellen der verdrehbaren Lager zum ersten Mal in Bewegung setzen.



4. Das Zeigerwerk

Als letzter großer Teil stand jetzt noch das Zeigerwerk auf dem Programm. Bei diesem stand aber vorher schon fest, dass ich die Räder des original ETA-Zeigerwerkes benutzen würde, da bei diesem vom Minutenrohr bis hin zum Stundenrad eine für mich passende Untersetzung von 1 zu 12 vorliegt. Diese Untersetzung passte gut, da mir klar war, dass es schwierig werden würde, eine Stelle für den Zeiger zu finden, an der ich einen großen Radius für die Skala zur Verfügung haben würde. Außerdem war es mit diesem Zeigerwerk möglich, es so anzuordnen, dass man damit aus dem Umfang der Antriebsräder heraus gelangt. Dies benötigte ich ja, um eine Welle bis zum Ziffernblatt hindurchführen zu können.

Als erstes musste ich ein ETA-Minutenrohr abdrehen und eine Messinghülse in das Minutenrohr einpressen, damit ich es auf die verlängerte Welle des Triebes, die oben aus der Platine herausragt, aufpressen konnte. Diese Hülse war nötig, da der Innendurchmesser des Minutenrohrs schon zu groß für die Welle des Triebes war. Das ließ sich aber nicht vermeiden, auch wenn diese Hülse sehr dünn ist, da mir eine dickere Welle Probleme im inneren System bereitet hätte.

Bild: Ich habe ein Stück Messing so abgedreht, dass ich das Minutenrohr auf einen Ansatz aufpressen konnte, sodass ich das Minutenrohr abdrehen konnte.



Bild: Das fertig abgedrehte Minutenrohr.

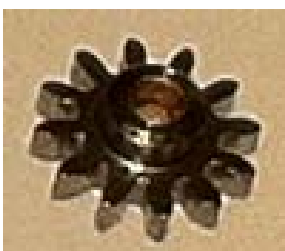


Bild: Das problematische Aufpressen des Triebes auf die verlängerte Welle.



Als nächstes habe ich eine Lagerung für das Wechselrad gebaut und eine Bohrung dafür in die Platine eingebracht.

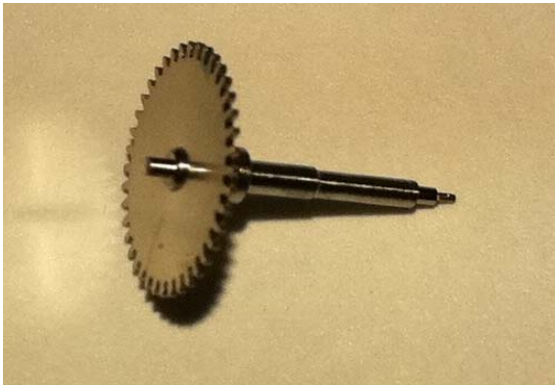
Bild: Die Lagerung des Wechselrades.



Anschließend machte ich mich daran, die lange Welle für das Stundenrad, auf deren anderer Seite der Zeiger sitzt, und den dazugehörigen Kloben herzustellen.

Bilder: Verschiedene Fertigungsstufen und der Endzustand der Zeigerwelle.





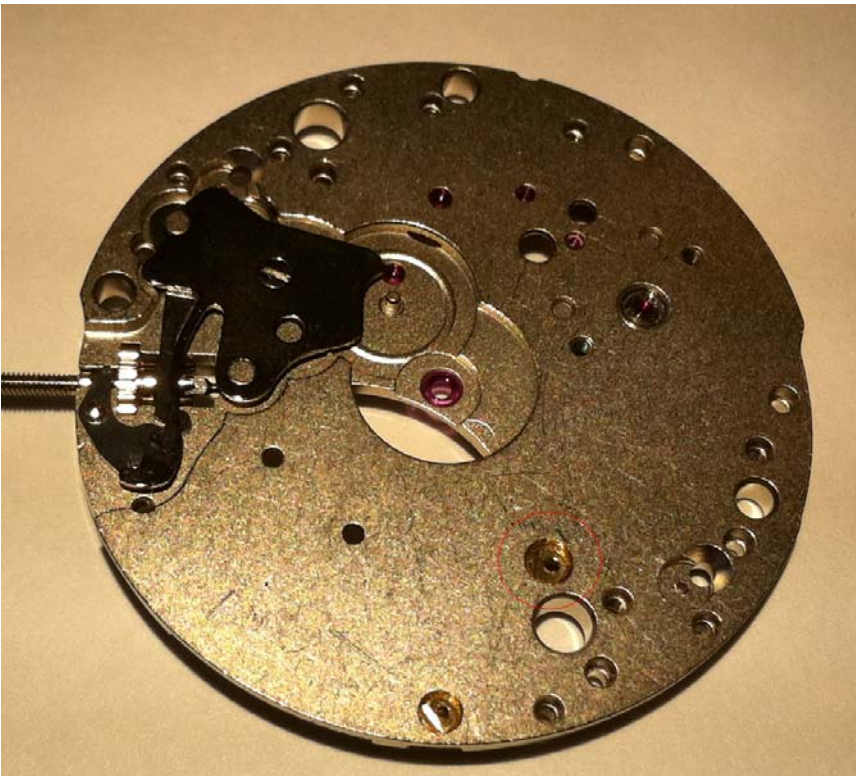
Den Kloben habe ich erst grob zugesägt und die Bohrung für die Befestigungsschraube in den Kloben und in die Platine eingedreht.. Anschließend habe ich die Bohrungen für den Führungsstift eingebracht und selbigen eingepresst. Als ich damit fertig war, habe ich die Bohrung für das Lager markiert und eingedreht, außerdem habe ich den Kloben auf der Unterseite ausgedreht, sodass das Stundenrad ein Stück im Kloben versinken kann. Um diese Arbeiten durchführen zu können habe ich den Kloben zur Befestigung in der Drehbank auf eine Lackscheibe aufgelackt.



Bild: Ausdrehen des Klobens mit Hilfe einer Lackscheibe



Im nächsten Arbeitsschritt habe ich die Platinen so bearbeitet, dass die Welle durchgesteckt werden konnte, und an der Ziffernblattseite ein Lager für den Zapfen der Zeigerwelle eingebracht, das hier rot umrandet ist.



Nachdem nun das Zeigerwerk in der Rohfassung fertig war, montierte ich alles und ließ es zur Probe laufen.

Bild: Der erste Probelauf des kompletten Systems.



Nach einem erfolgreichen Testlauf veränderte ich aus Gründen der Optik Kloben und Platine, was sich aber nachher als Fehler herausstellen sollte.

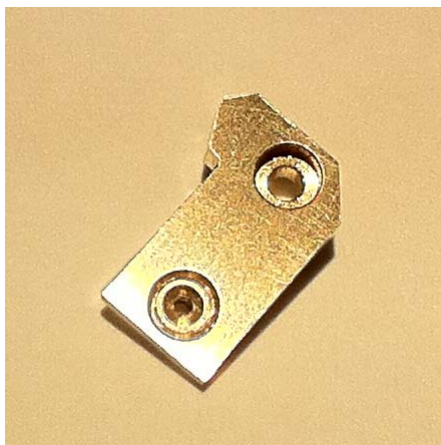


Bild: Dieses Bild zeigt die endgültige Form der Platine mit dem Ausschnitt für die Zeigerwelle und nachdem ich das überflüssige Minutenradlager entfernt hatte.



Bild: Dieses Bild zeigt die endgültige Form des Zeigerwerks.



Nun stand das System in seinem Grundstock, und ich ließ es Probelaufen und veränderte noch einige Kleinigkeiten. So ersetzte ich zum Beispiel einige Lager und nahm noch Einstellungen an den verdrehbaren Lagern vor. Außerdem bemerkte ich, dass das Zeigerwerk sehr viel Zahnluft hatte. Aus diesem Grund entschloss ich mich, eine Art Friktionsfeder an der Zeigerwelle anzubringen. Dazu arbeitete ich eine Datum-Rastfeder um, sodass ich sie seitlich auf die Welle drücken lassen konnte.

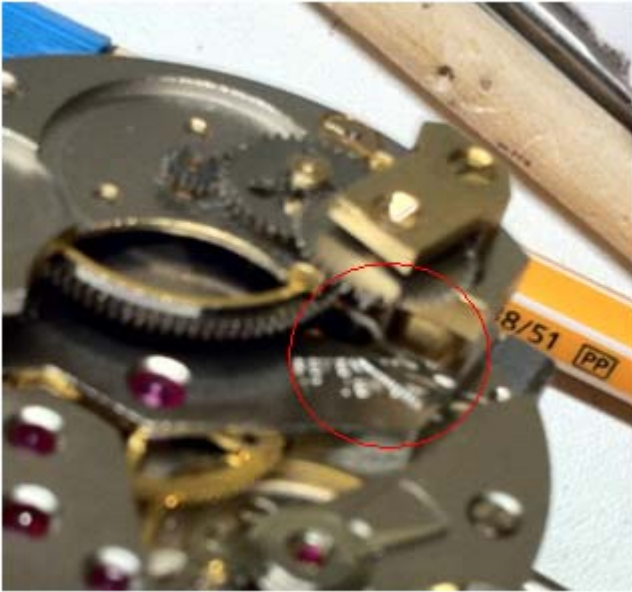
Bild: Die Ausgangsfeder, aus der ich die Friktionsfeder hergestellt habe.



Bild: Die endgültige Form der Friktionsfeder.



Bild: Die montierte Friktionsfeder die mittels einer Schraube an der Platine befestigt ist.



Anschließend nahm ich ein altes Ziffernblatt und bohrte ein Loch für den Zeiger auf. Für den Zeiger benutzte ich einen Sekundenzeiger da dieser von der Größe sehr gut passte und ich ihn nur ein wenig aufreiben musste, damit er passt.



5. Die Neue Platine:

Als ich das Werk nun noch einmal demontieren und reinigen wollte, merkte ich, dass die Platine an der Stelle der beiden Lager der Antriebswellen bis hin zu dem Ausschnitt für die Zeigerwelle sehr dünn geworden war und sie auch durch die häufige Bearbeitung etwas in Mitleidenschaft gezogen wurde. Dieses bewirkte insgesamt, dass die Platine sehr instabil wurde und schlussendlich anfang sich bei der Montage durchzubiegen. Um zu verhindern, dass die Platine sich verbiegen oder sogar brechen, konnte entschloss ich mich, sie noch einmal anzufertigen.

Die neue Platine brachte mir aber auch die Möglichkeit, ein paar Punkte an ihr zu verändern, wie z.B. kleinere Lager für die Antriebswellen verwenden zu können und die Eingriffe im Zeigerwerk etwas zu verändern. Außerdem stellte ich auch ein neues Antriebsrad her mit dem es möglich war, auf die eingebohrten Stifte, welches es fixieren sollten zu verzichten, da es nun näher an der Platine saß und die Platine selbst diese Aufgabe übernehmen konnte. Außerdem bohrte ich nur ein Loch für die Zeigerwelle und ließ das Minutenradlager an der Platine, um die Stabilität der Platine zu gewährleisten.

Als erstes versuchte ich die Löcher der alten Platine möglichst gut auf die neue zu übertragen, was allerdings nur sehr bedingt funktionierte, da ich zu dieser Zeit merkte, dass sich die Platine schon etwas verbogen hatte. Also blieb mir leider auch hier nichts anderes übrig, als exzentrische Lager zu bauen, um die Eingriffe verändern zu können. Allerdings verzichtete ich darauf, diese mit einem Schraubenschlitz zu versehen, damit ich die Platine nicht wieder unnötig instabil machen würde.

Hier zur Fertigung einige Bilder:

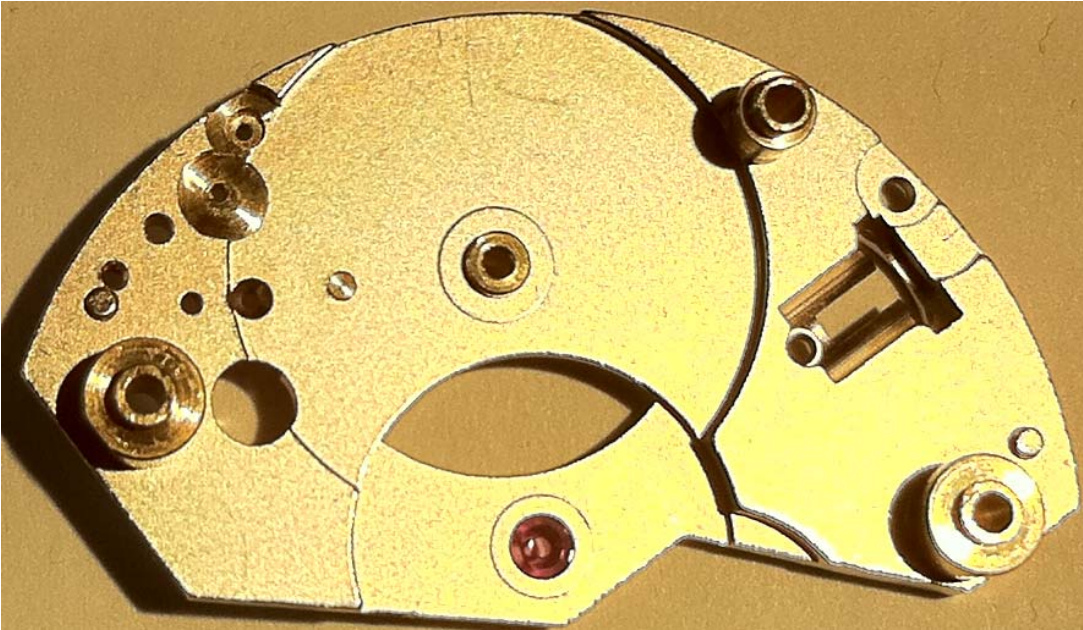
Bild: Die Platine mit den eingebrachten Löchern.



Bild: Das Ausdrehen der Platinenunterseite.

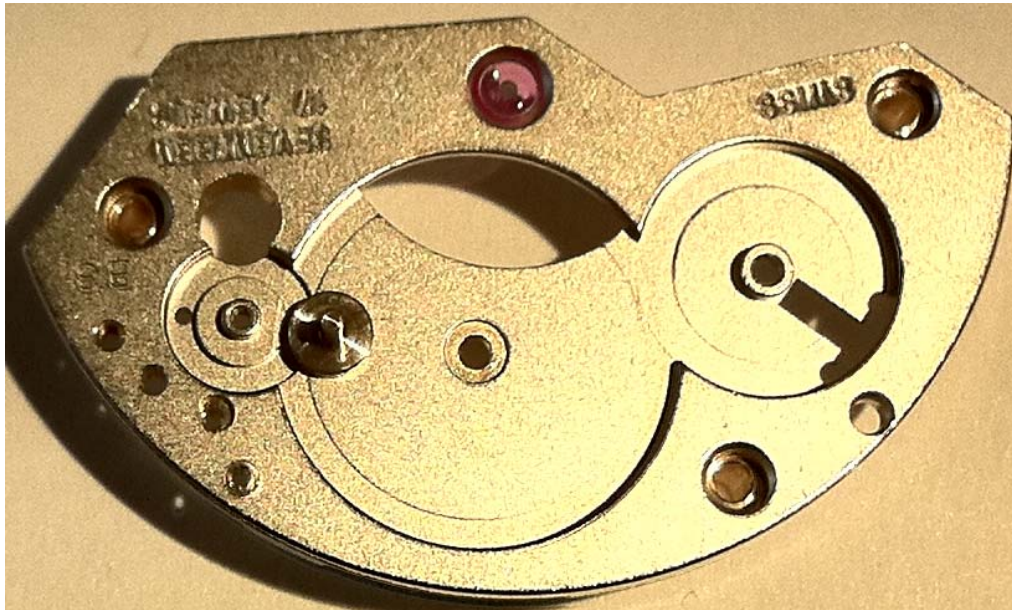


Bild: Die fertige Platinenunterseite.



Außerdem musste ich die Hülse, die das zweite Antriebsrad hält, noch einmal fertigen, da sich durch das neue Antriebsrad die Maße etwas geändert hatten. Des weiteren baute ich auch eine exzentrische Lagerung für das Wechselrad des Zeigerwerks, um den Eingriff dort einstellen zu können. Diese fertigte ich, indem ich den oberen Teil wie beim ersten Mal anfertigte, auf der Unterseite aber ein exzentrisches Loch einbrachte und anschließend in dieses Loch einen Stift einschlug.

Bild: Die fertige Platinenoberseite, mit eingepresster exzentrisch verdrehbarer Lagerung für das Wechselrad.



Anschließend montierte ich das Werk erneut und ließ es probelaufen. Außerdem nahm ich das Ziffernblatt und markierte mir Anfang und Endpunkt der Skala und malte diese per Hand auf. Da es mit meinen malerischen Fähigkeiten nicht sehr weit her ist, ist dies eine reine Kontrollskala, um zu beobachten ob der Zeiger immer wieder an seinen Ausgangspunkt zurück läuft.

Bild: Das komplett montierte Werk

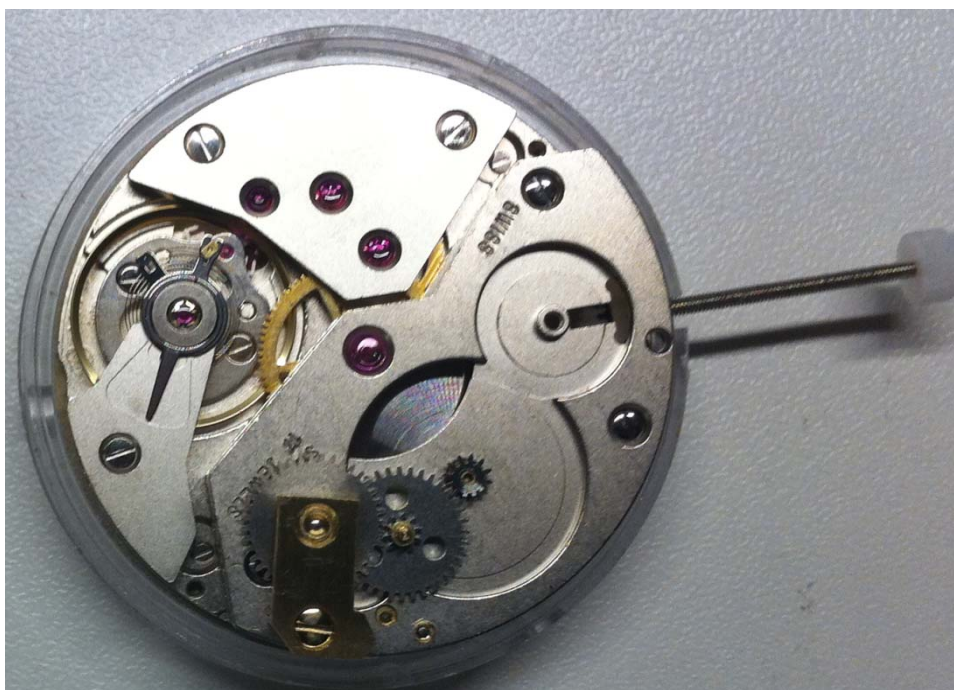


Bild: Die Vorderseite des kompletten Werkes



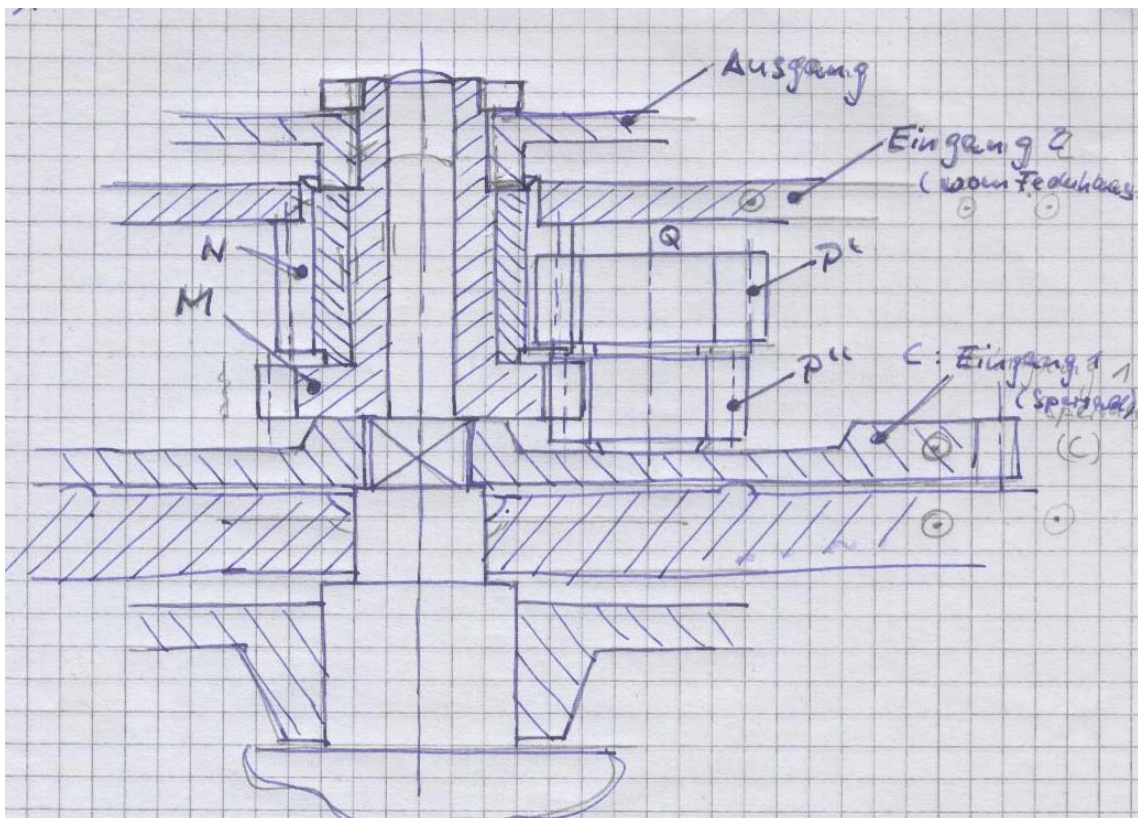
Damit war die Fertigung beendet. Ich hoffe, ich habe es mit diesem Bericht geschafft, Ihnen einen Einblick in meine Arbeit zu ermöglichen. Es folgen nun noch die Berechnung des Planetengetriebes sowie einige Hinweise zur Demontage und Montage des Getriebes.

Berechnung des Planetengetriebes:

Für die Berechnung galten für mich einige Voraussetzungen, die zu erfüllen waren:

1. Die Winkelgeschwindigkeiten am Ausgang des Systems müssten beim Abflauen und beim Aufziehen des Werkes gleich groß sein. Oder die Winkelgeschwindigkeiten müssten den gleichen Wert haben, während der eine positiv und der andere negativ wäre.
2. Ich musste zwei Eingriffe mit dem selben Achsenabstand haben.
3. Mir standen nur begrenzte Triebzahnzahlen zur Verfügung, ich musste also versuchen, eine Variante zu finden, zu der ich auch die passenden Triebe finden könnte. Dabei war mein Ziel, möglichst viele Triebe mit zwölf Zähnen zu benutzen, da 12 eine relativ häufige Zahnzahl bei Großuhrtrieben ist und ich somit eine größere Chance hatte, später Triebe mit einem passenden Durchmesser bzw. Modul in den Schulbeständen zu finden.

Hier noch eine Skizze zum besseren Verständnis der Rechnung



Also begann ich damit, mir die benötigte Übersetzung zu errechnen.

Gemäß der Formel von Willis gilt für diese Berechnung:

$$\vec{\omega}_m = \vec{\omega}_c \times [1 - (Z'' \times Z_n) : (Z_m \times Z_{p'})] + \vec{\omega}_n \times (Z_{p''} \times Z_n) : (Z_m \times Z_{p'})$$

Zur Vereinfachung dieser Formel setzen wir nun die Übersetzung i für $(Z_{p''} \times Z_n) : (Z_m \times Z_{p'})$ ein.

$$\Rightarrow \vec{\omega}_m = \vec{\omega}_c \times (1 - i) + \vec{\omega}_n \times i$$

Berechnung beim Aufzug:

Hier wird angenommen, dass das Federhaus dabei stillsteht, da diese Drehung vernachlässigbar klein ist.

$$\Rightarrow \vec{\omega}_n = 0$$

Also lautet die Formel zur Errechnung der Übersetzung von m zu c

$$i_{mc} = \vec{\omega}_m : \vec{\omega}_c = 1 - i$$

Berechnung beim Ablaufen der Uhr:

Hier wird angenommen, dass das Sperrrad beim ablaufen feststeht.

$$\Rightarrow \vec{\omega}_c = 0$$

Also lautet die Formel zur Errechnung der Übersetzung von n zu m

$$i_{nm} = \vec{\omega}_m : \vec{\omega}_n = i$$

Um nun mit beiden Formeln auf einen funktionierenden Wert zu gelangen setzt man für $\vec{\omega}_m$ jeweils 1 ein und sowie für $\vec{\omega}_n$ und $\vec{\omega}_c$ 2.

$$\Rightarrow i_{mc} = 0,5 \quad \text{und} \quad i_{nm} = 0,5$$

Da beide Formeln 0,5 ergeben lässt sich mit dieser Übersetzung das Getriebe herstellen, allerdings müssen, da beide Werte positiv sind, die Drehrichtung der beiden Eingänge unterschiedlich sein.

Anschließend suchte ich mit diesem Wert für mich passende Zähnezahlen um dieses Übersetzungsverhältnis herzustellen. Dazu hier eine Tabelle mit einigen verschiedenen Möglichkeiten die möglichst Triebe mit der Zahnzahl 12 berücksichtigen.

Triebe	Variante 1	Variante 2	Variante 3
n	12	9	4
m	12	12	4
p'	12	12	12
p''	6	8	6

Zwischen diesen Varianten entschied ich mich für Variante 2, da ich dafür folgende Triebe fand:

Triebe	Zähnezahlen	Durchmesser	Modul (M)
n	9	3,2	0,35
m	12	4,5	0,375
p'	12	4,2	0,35
p''	8	3	0,375

Dazu noch die Berechnung der Achsabstände:

Achsabstand n zu p':

$$a = [M \times (Z_n + Z_{p'})] : 2$$

$$a = [0,35 \times (9 + 12)] : 2$$

$$a = 3,675$$

Achsabstand m zu p'':

$$a = [M \times (Z_m + Z_{p''})] : 2$$

$$a = [0,375 \times (12 + 8)] : 2$$

$$a = 3,75$$

Diese Triebe erfüllen einmal die Anforderungen an die Übersetzung. Außerdem weichen die Achsabstände nicht wesentlich mehr als $0,1 \times M$ voneinander ab.

Damit hatte ich alle Triebzahnzahlen, Durchmesser und Achsabstände errechnet, die ich für das Planetengetriebe benötigte.