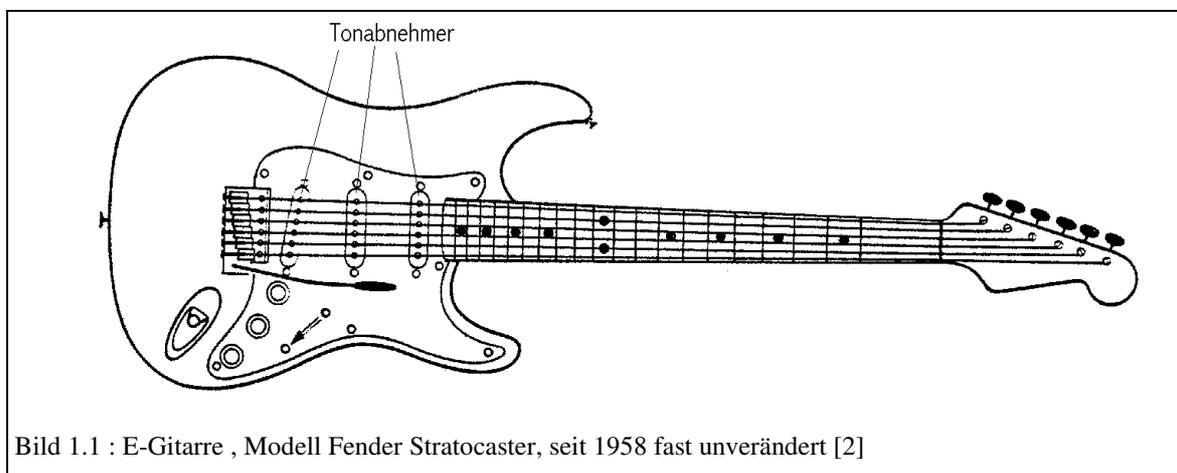


1 Einleitung und Aufgabenstellung

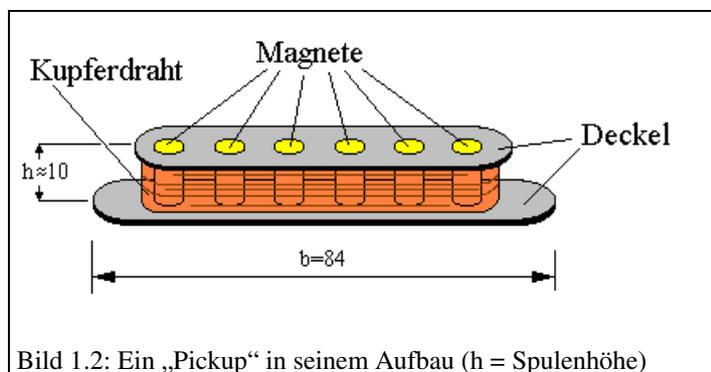
In der Musikbranche sind technische Neuerungen immer gefragt, vor allem wenn sich dadurch auch neue Klänge bewirken lassen. Die Technik und das Instrument nähern sich immer mehr aneinander an. Aus dieser Entwicklung resultieren Instrumente, die mit der akustischen Urversion nicht mehr viele Gemeinsamkeiten aufweisen. Beispiele hierfür sind zum Beispiel der Synthesizer oder die E-Gitarre.

Die Elektrogitarre unterscheidet sich im Wesentlichen von der akustischen Gitarre durch ihre Tonabnehmer. Diese Tonabnehmer, die auch als Pickups bezeichnet werden, sind längliche



Spulenkörper mit mehreren tausend Wicklungen aus sehr dünnem Kupferdraht. Der Durchmesser des Drahtes beträgt 0,04 bis 0,08 mm. Aus klanglichen Gründen interessieren hier jedoch nur Drahtdurchmesser ab 0,06 mm.

Pickups sind durch ihre speziellen Eigenschaften zum Teil des Instrumentes geworden und nicht durch andere Systeme ersetzbar. Es gibt keinen perfekten Tonabnehmer, da sie ständigen Modenschwankungen unterliegen, jedoch werden immer wieder Pickups gesucht, die Klänge formen, die von den großen Herstellern (noch) nicht angeboten werden. Hieraus resultiert die Idee, selbst solche Tonabnehmer herzustellen und zu vertreiben.



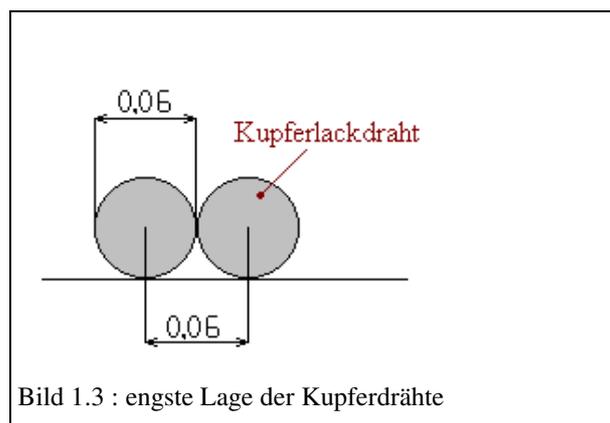
Die ersten Pickups wurden mit großem manuellem Aufwand hergestellt. Die Ergebnisse wurden in der Fachwelt allerdings mit großem Interesse aufgenommen. Bei einem Preis von 30 bis 150 DM für diese Tonabnehmer war die Herstellung viel zu aufwendig, da viele Stunden Handarbeit investiert werden mußten, um einen einzigen Tonabnehmer herzustellen. Außerdem waren die Ergebnisse schwer zu wiederholen, da die einzelnen Drahtlagen beim Aufwickeln relativ ungleichmäßig waren.

Der Draht reißt schnell und muß sehr sorgsam geführt werden, damit die einzelnen Lagen in sich fest werden. Das Wickeln erfordert mehrere Stunden höchster Konzentration und wird mit abnehmendem Drahtdurchmesser nahezu unmöglich.

Die Konstruktion einer Maschine, die diese Arbeit selbständig durchführt, ist daher fast zwingend notwendig. Eine solche Maschine muß folgenden Anforderungen genügen:

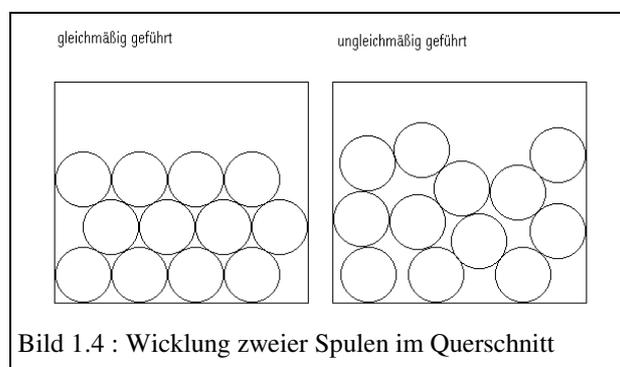
- Der Kupferlackdraht muß möglichst präzise selbständig geführt werden

Die Genauigkeiten und Toleranzen resultieren aus dem Drahtdurchmesser. Der kleinste zu wickelnde Drahtdurchmesser beträgt 0,06 mm. Kleinere Drahtdurchmesser sind nach Rücksprache mit einem Instrumentenhersteller nicht zu berücksichtigen.



- Die Vorschubgeschwindigkeit sollte regelbar sein

Da der Draht in den einzelnen Lagen nebeneinander liegt, sollte der Vorschub pro Umdrehung mindestens auch diesen Wert erreichen. Hieraus ergibt sich auch eine Toleranz von höchstens 0,06 mm, damit sich der Draht nebeneinander ablegt. Allerdings ist zu beachten, daß diese Art der



Wicklung nur eine Möglichkeit darstellt. Andere Vorschubgeschwindigkeiten ergeben laut der

Aussage von Musikern auch andere Klänge. Tatsächlich erhalten Spulen mit unterschiedlichen Wicklungsdichten auch andere Kapazitäten. In Bild 1.4 wird verdeutlicht, wie sich eine gleichmäßig gewickelte Spule von einer ungleichmäßig gewickelten Spule unterscheidet. Die Gleichmäßigkeit der Wicklung ist sehr wichtig, um ein ausgewogenes Klangbild zu erreichen und um einen Tonabnehmer reproduzierbar zu machen.

- Die Vorspannung, die vorher von Hand geregelt wurde, muß von der Maschine geregelt werden

Eine gleichmäßige Spannung im Kupferlackdraht ist erforderlich, damit die Wicklung an jeder Stelle fest ist und sich keine Drähte zum Schwingen anregen lassen. Solche Schwingungen hätten negative Eigenschaften des Tonabnehmers zur Folge.

- Bei einer einzugebenden Wicklungszahl muß die Maschine stoppen

Die Wicklungszahl, die zwischen 5000 bis zu 10000 Wicklungen betragen kann, ist entscheidend für die Klangeigenschaften des Tonabnehmers und muß deshalb an der Maschine einzustellen sein. Ein automatisches Stoppen der Wicklung ist notwendig, da der Wickelvorgang mehrere Stunden dauern kann.

Erklärung	2
1 Einleitung und Aufgabenstellung	5
2 Grundlagen	8
2.1 Grundlagen elektromagnetischer Tonabnehmer	8
2.2 Grundlagen von Spulenwickelmaschinen	15
2.3 Kinematische Grundlagen beim Wickeln von Tonabnehmerspulen	18
3 Konzeption einer neuen Wickelvorrichtung	
3.1 Anforderungen an die Maschine	25
3.2 Vorversuche	28
3.3 Aufbau der Maschine	36
4 Abwickleinheit	37
4.1 Rahmen	37
4.2 Lagerung	39
4.3 Bremse	42
5 Wickeleinheit	44
5.1 Verstellwagen	46
5.1.1 Vorspannungsregelung	46
5.1.1.1 Modell	48
5.1.1.2 Umsetzbarkeit	49
5.1.1.3 Anpassung der Bohrungen an die Gleitstangen	50
5.1.2 Horizontalverstellung	52
5.1.2.1 Modell	55
5.1.2.2 Konstruktion der horizontalen Verstellung	55
5.1.2.2.1 Zusammenbau der horizontalen Verstellung	59
5.2 Rahmen	60
5.2.1 Montage des Grundrahmens	61
5.2.2 Belastbarkeit und Schraubenanzugsmomente	62
5.2.3 Vor- und Nachteile des Baukastensystems	63
5.3 Antrieb	65
5.3.1 Motor	65
5.3.2 Antriebswelle	67
5.3.2.1 Lagerung	67
5.3.2.2 Lebensdauer	67
5.3.2.3 Lagerspiel	68
5.3.3 Spannrolle	69
5.4 Einspannung	69
5.4.1 Bedienung	70
6 Steuerung	71
6.1 Spannungsversorgung	72
6.1.1 Schaltungsbeschreibung des Netzteilbausteins	73
6.2 Schrittmotorsteuerung	74
6.2.1 Schaltungsbeschreibung der Schrittmotorsteuerkarte	75

6.3 Zähler	77
6.3.1 Schaltungsbeschreibung	78
6.3.2 Zusammenbau des Up-Down-Zählers	81
6.3.3 Bedienung des Zählers	83
6.4 Impulsaufnahme	91
6.5 Endabschaltung	92
6.6 Anpassung der Elektronik	93
7 Durchführung von Wickelversuchen	96
7.1 Bedienung der Maschine	96
7.2 Realisation	99
7.2.1 Oberflächenbearbeitung	99
7.2.2 Umlenkradien	100
7.3 Probleme	101
7.3.1 Signalverarbeitung	101
7.3.2 Temperatureinflüsse	101
7.3.3 Synchronisation der Geschwindigkeiten	102
7.3.4 Einstellung der Bremse	103
7.3.5 Verschmutzung	104
7.3.6 Demontierbarkeit	104
8 Erprobung hergestellter Spulen	105
8.1 Konstruktion und Bau einer Testgitarre	105
8.2 Mikrofonie der Spulen	106
8.3 Beurteilung des Klanges von Musikern	107
9 Zusammenfassung	109
10 Literaturverzeichnis	110
11 Einzelteilzeichnungen	111

2 Grundlagen

2.1 Grundlagen elektromagnetischer Tonabnehmer

Die meisten Gitarren werden heute mit elektromagnetischen Tonabnehmern ausgerüstet. Es befinden sich meistens zwei oder drei Tonabnehmer in einer E-Gitarre. Sie sind immer unter den Saiten angebracht. Der Klang ist anders als bei akustischen Gitarren. Doch gerade dieser Klang ist heute gefragt und so läßt sich die E-Gitarre neben der akustischen Gitarre als eigenständiges Instrument verstehen. Es werden jedoch auch bei Folk - und Westerngitarren elektromagnetische Tonabnehmer eingesetzt, und auch dort ist diese Art der Tonabnahme sehr beliebt.

Magnetische Tonabnehmer arbeiten nach dem elektromagnetischen Wandlerprinzip. Sie wandeln die Schwingungen der Saiten direkt in eine entsprechende Wechselspannung um. Ein magnetischer Tonabnehmer besteht im wesentlichen aus einem oder mehreren Permanentmagneten, die ein magnetisches Gleichfeld erzeugen. In diesem Feld befindet sich eine Spule aus vielen sehr dünnen Kupferdrahtwindungen. Diese Anordnung (siehe Bild 2.1.1) bildet einen offenen Magnetkreis, in dessen Magnetfluß die Spule liegt. Der räumliche Verlauf der magnetischen Feldlinien verformt sich, wenn ein ferromagnetischer Gegenstand, z. B. eine Stahlsaite, in die Nähe des Tonabnehmers gebracht wird. Das geschieht im Rhythmus der Saitenschwingungen. In Bild (2.1.1)

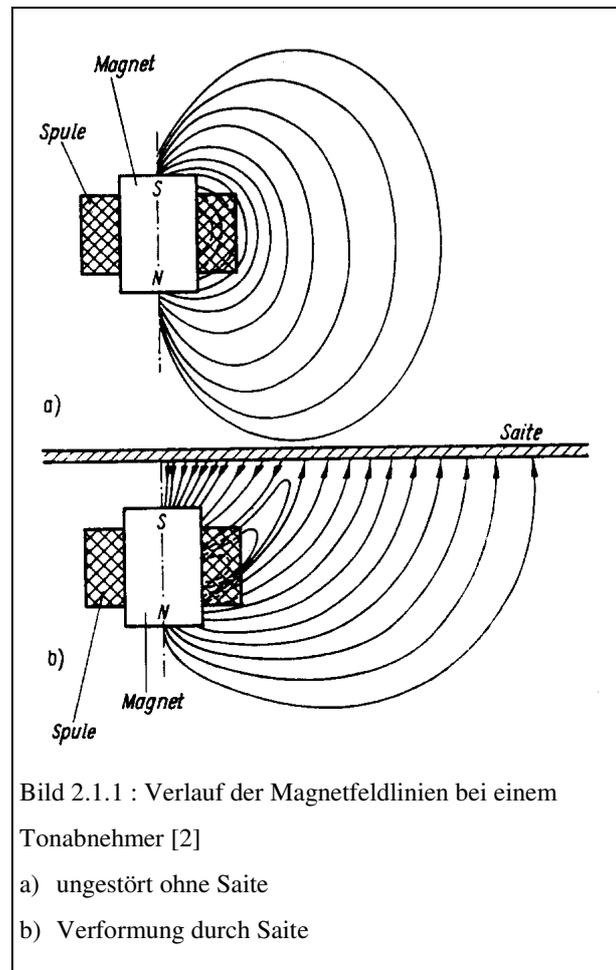


Bild 2.1.1 : Verlauf der Magnetfeldlinien bei einem Tonabnehmer [2]

- a) ungestört ohne Saite
- b) Verformung durch Saite

erkennt man eine Verdichtung der Feldlinien zwischen Saite und Magnetpol. Die Saite zieht den gesamten Feldlinienverlauf etwas nach oben, so daß auch am magnetischen Nordpol eine leichte Feldstärkezunahme bei Annäherung der Saite auftritt. Wegen des geringeren magnetischen Widerstands des Saitenmaterials gegenüber Luft nehmen ein Großteil der Feldlinien nunmehr ihren Weg durch die Saite. Der Winkel, in dem die Feldlinien aus- bzw. eintreten, hängt von der Permeabilität ab. In einem bestimmten Abstand vom Tonabnehmer kehrt sich dabei die Feldrichtung um. Die Lage dieses Umkehrpunktes unterscheidet sich bei verschiedenen Tonabnehmerkonstruktionen merklich. Sie hängt insbesondere von der Gestaltung des Magnetkreises ab, z. B. vom Vorhandensein von flußlenkenden Eisenteilen. In bezug auf die induzierte Spannung sind diejenigen Feldlinien von Interesse, die die Spule schneiden (gestrichen gezeichnet). Schwingt die Saite, ändert sich der magnetische Fluß durch die Spule und es wird nach dem Induktionsgesetz eine Spannung induziert.[2]

Auf den Tonabnehmer übertragen bedeutet dies, daß die Höhe der induzierten Spannung proportional zu der Schnelle der Saitenschwingung ist. Außerdem ist sie um so größer, je stärker das Magnetfeld ist und je mehr Windungen die Spule hat. Die induzierte Spannung hängt weiterhin auch von den ferromagnetischen Eigenschaften der Saite ab: Von der Permeabilität des Materials und dem Querschnitt sowie auch von der Schwingungsebene der Saite und vom Abstand der Saite vom Magnetpol. Senkrecht zur Korpusoberfläche ergibt sich eine größere Empfindlichkeit. Anhand Bild 2.1.1 wird verdeutlicht, daß die Lage der Spule im Magnetfeld und ihre Geometrie bedeutsam sind. Wenn der Magnetstift weit aus der Spule herausragt, ergeben sich etwas andere Verhältnisse, als wenn die Spulenoberkante mit dem saitenzugewandten Pol abschließt. Ein weiterer Effekt tritt noch hinzu: Da es sich bei der Saite um einen hartmagnetischen Werkstoff handelt, wird ein Teil der Saite etwas aufmagnetisiert und dadurch selbst zum Magneten. Damit kann die Empfindlichkeit gesteigert werden. Diese Wirkung läßt sich erhöhen, indem man die Saiten bewußt mit einem möglichst starken Magneten bestreicht und sie auf diese Weise aufmagnetisiert. Zu beachten ist allerdings, daß die Wirkung wieder nachläßt, es also viel Erfahrung erfordert, um die Ausgewogenheit zwischen den einzelnen Saiten zu bewahren. Außerdem besteht die Schwierigkeit, daß die Polarität der Saiten natürlich für den Klangcharakter bedeutsam sein kann und daß sich die Feldverhältnisse unübersichtlich gestalten können, wenn mehrere

Tonabnehmer unweit voneinander angeordnet sind. Vom Hersteller bereits vormagnetisierte Saiten konnten sich deshalb bisher auf dem Markt nicht durchsetzen. [2]

Spule und Magnet beeinflussen nicht nur die Ausgangsspannung und damit die Lautstärke des Tonabnehmers, sondern auch den Klang. Wie bekannt, hängt auch der Klang von E-Gitarren sehr stark vom Tonabnehmer ab. Trotz äußerlicher Gleichheit der Tonabnehmer können die Klangunterschiede sogar enorm sein. Zum besseren Verständnis ist es erforderlich, das Wechselstromverhalten eines Tonabnehmers zu betrachten. Dazu soll das Ersatzschaltbild einer realen Luftspule dienen. Es besteht aus der Induktivität L , dem Gleichstromwiderstand R und der Wicklungskapazität C_W , die wie ein parallelgeschalteter Kondensator wirkt.

Gegenüber der Erde besteht die Kapazität C_E und falls ein Gehäuse vorhanden ist, kommt noch die Kapazität C_G hinzu. Die entscheidende Größe ist die Induktivität. Sie hängt von der Windungszahl, der Spulengeometrie und bei Tonabnehmerspulen von den Abmes-

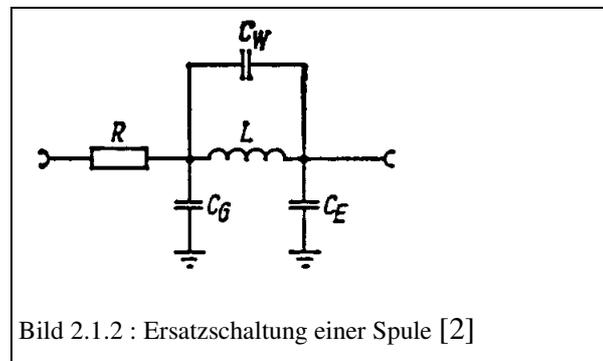


Bild 2.1.2 : Ersatzschaltung einer Spule [2]

sungen und Eigenschaften der Eisenkerne und Magneten ab. Die größtmögliche Induktivität bei geringster Drahtlänge erfordert einen quadratischen Wickelraum. Bei den meisten Tonabnehmern beträgt die Induktivität einige Henry. [2]

Zwischen benachbarten Drahtwindungen besteht auch stets eine gewisse Kapazität, die nicht vernachlässigt werden darf und im Extremfall einige hundert Pikofarad betragen kann. Sie wird von der Spulengeometrie, der Dicke der Lackisolierschicht und der Art der Wicklung stark beeinflusst. Eine dichte Wicklung und eine parallele Drahtführung erhöhen die Wicklungskapazität. C_W , C_G und C_E lassen sich in einer Gesamtkapazität zusammenfassen, die ebenfalls parallel zu L liegend aufgefaßt wird. Der Gleichstromwiderstand wird von der Drahtlänge und dem Drahtquerschnitt bestimmt und vom spezifischen Widerstand des Drahtmaterials. Da fast ausschließlich Kupferdraht verwendet wird, spricht man auch vom Kupferwiderstand. Selbstverständlich gehen Schwankungen im Drahtdurchmesser mit in den Kupferwiderstand ein. Er läßt sich mit einem

normalen Ohmmeter ohne weiteres messen. Dagegen versagen die üblichen Induktivitätsmeßbrücken bei der Bestimmung der Induktivität. Gründe dafür sind der störende Einfluß der Wicklungskapazität und Schirmungseffekte (C_G und C_E), weshalb scheinbar größere Werte gemessen werden. [2]

Die von den Herstellern (wenn überhaupt) angegebenen L- Werte sind daher meist deutlich zu groß. [1]

Eine Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Tonabnehmern ist nur gegeben, wenn gleiche Saiten benutzt werden und gleicher Saitenabstand sowie gleicher Abnahmeort gegeben sind.

Die am weitesten verbreitete Tonabnehmerform besitzt nur eine Drahtwicklung (Single Coil). Es sind jedoch eine Vielzahl von Ausführungsformen bekannt geworden, von denen einige im Bild 2.1.3 dargestellt sind.

Bekanntester Vertreter der Einzelspulen-tonabnehmer ist der Stratocastertyp von Fender (Bild 2.1.3 a), der mittlerweile in den verschiedensten Varianten hergestellt wird. Der Stratocastertonabnehmer besteht aus 6 zylinderförmigen Einzelmagneten, jeder einer Saite zugeordnet. Alle Magnete haben die gleiche Polarisierung. Gewöhnlich zeigen die Südpole auf die Saiten. Die Magnete werden mit zwei Trägerplatten aus Vulkanfiber oder aus starker Pappe befestigt. Die Drahtwicklung ist direkt auf die Magnete gelegt, um den geringstmöglichen Abstand zu gewährleisten. Bei Verwendung eines plastgespritzten Spulenkörpers wäre dies nicht der Fall. Als äußerer Schutz dient eine Plastikcappe. [2]

Magnetabmessungen, Drahtdurchmesser und Wicklungszahl wechselten bei den Stratocastermodellen von Fender praktisch von Jahr zu Jahr, so daß man schwerlich von dem Stratocastertonabnehmer sprechen

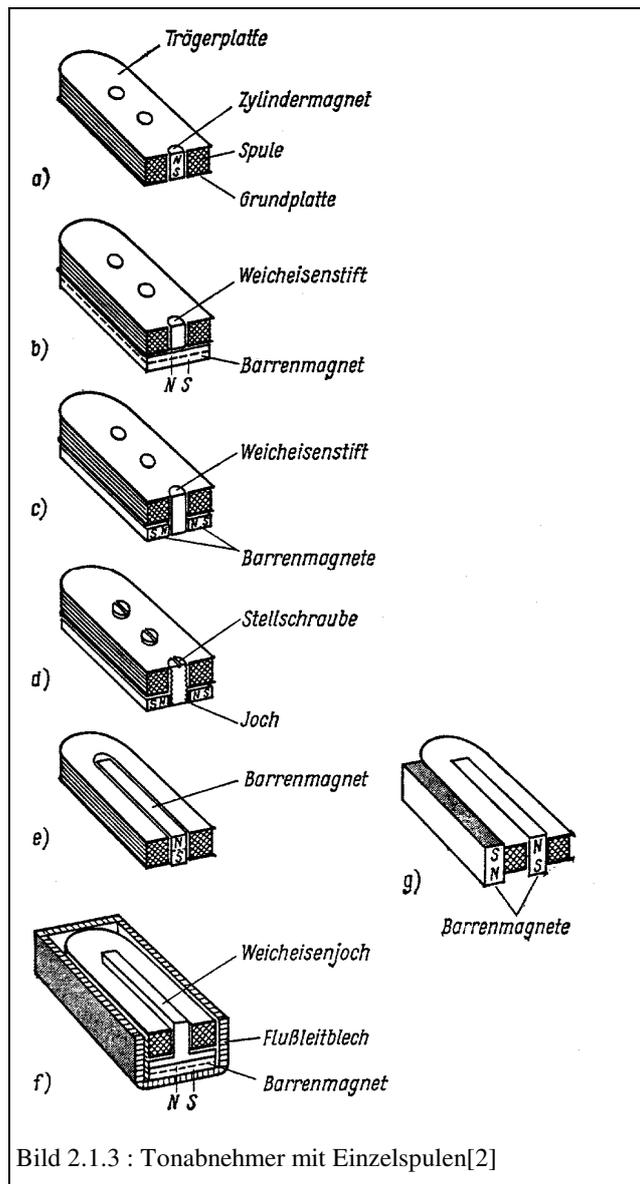


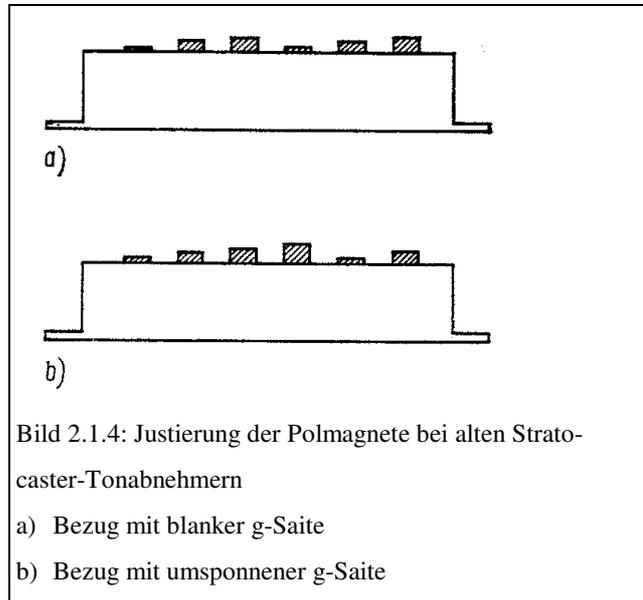
Bild 2.1.3 : Tonabnehmer mit Einzelspulen[2]

„Normtonabnehmer“ (ähnlich Fender Tonabnehmer):

Anzahl der Magnete	6
Magnetdurchmesser	4,75 mm
Magnetlänge	16,70 mm
Abstand der Magnete	10,34 mm von Mitte zu Mitte
Kupferdrahtdurchmesser	0,063 mm
Windungszahl	etwa 7 600.

kann, ganz zu schweigen von den vielen Nachbauten.

Auffälliger Unterschied der Tonabnehmer der 50er Jahre zu den heutigen ist die abgestufte Magnetstiftlänge. Die Abstufungen bewirken einen Lautstärkeausgleich zwischen den einzelnen Saiten, da diese bekanntlich sehr unterschiedliche schwingende Eisenmassen haben. Heutzutage werden vorwiegend extrem dünne Saiten bespielt, so daß die meisten Musiker auch mit gleich hohen Magneten gut zurechtkommen. Unterschiede bestehen auch in der Wickeltechnologie.



Die alten Tonabnehmer waren von Hand gewickelt, d. h. sie waren ziemlich locker und nicht sehr gleichmäßig. Um die Wicklung selbst am Mitschwingen zu hindern, um also unerwünschte Mikrofonieeffekte zu unterdrücken, waren die älteren Modelle mit Wachs getränkt. Die neueren Modelle sind mit Lack versehen und mit Präzisionsmaschinen gewickelt. Dadurch wird zwar eine größere Gleichmäßigkeit erreicht und ein Exemplar klingt wie das andere, es steigt aber auch die Wicklungskapazität gegenüber den handgewickelten Tonabnehmern. [2]

Die genannten Unterschiede lassen deutliche klangliche Unterschiede zwischen alten und neuen Stratocastertonabnehmern vermuten, was auch tatsächlich zutrifft. Da sich der Sound der alten Tonabnehmer zunehmender Beliebtheit erfreut, haben einige Tonabnehmerhersteller sog. Vintage - Modelle in ihr Fertigungsprogramm aufgenommen, die den alten Klang mehr oder weniger erreichen. [2]

Eine gewisse Rolle beim Vergleich von alten und neuen Tonabnehmern spielt auch die Alterung des Magnetmaterials. Stoß- und Wärmeeinwirkung können den Prozeß der natürlichen Alterung beträchtlich beschleunigen, was selbstverständlich auch nicht ohne klangliche Auswirkung bleibt.

Einige Tonabnehmerhersteller (Seymour Duncon) verwenden künstlich gealterte Magnete bei den "Vintage" - Modellen. Dahinter steckt nichts weiter, als daß die Magnete einem schwachen Wechselfeld ausgesetzt wurden, was die natürliche Alterung durch das Erdmagnetfeld simulieren soll. [2]

Wie schon erwähnt, schwankte die Wicklungszahl der Stratocaster-Tonabnehmer relativ stark. Der Gleichstromwiderstand variierte zwischen etwa 5 und 7k Ω . Neben zufälligen Unterschieden werden in jüngster Zeit auch bewußt Tonabnehmer mit unterschiedlicher Windungszahl in einem Instrument eingebaut. Zum Beispiel wird der Stegtonabnehmer wegen der dort geringeren Saitenamplituden mit einer größeren Windungszahl versehen, um die Lautstärke anzugleichen. Soll generell mehr Lautstärke herausgeholt werden, so muß die Windungszahl drastisch erhöht werden, was auch den Gleichstromwiderstand entsprechend vergrößert. Einige Hersteller gehen dabei bis zu etwa 14 k Ω . Damit lassen sich Verstärker zwar wesentlich besser übersteuern, der Klang wird aber auch dumpf, weil die Resonanzfrequenz dann zwangsläufig sehr tief liegt. [2]

Manchmal erzeugen wicklungsstarke Tonabnehmer trotzdem einen relativ reichen Klang. Dies ist jedoch dann auf den verwendeten Verstärker zurückzuführen, der stärker übersteuert und deshalb mehr Obertöne produziert. Statt die Windungszahl wesentlich zu erhöhen, läßt sich eine Leistungssteigerung auch mit einem anderen Magneten erreichen. [2]

2.2 Grundlagen zu Spulenwickelmaschinen

Wickelmaschinen sind mit die ersten Maschinen, die mit Beginn unseres Jahrhunderts gebaut wurden. Die Textilindustrie wurde immer mehr industrialisiert und so wurden auch die ersten Grundlagen für solche Maschinen erarbeitet. Anfangs wurde noch sehr viel Regelaufwand vom Menschen verrichtet, später mechanisierte man diese Aufgaben immer weiter.

Grundsätzlich unterscheidet sich das Aufwickeln von Kupferlackdraht und Textilfasern nicht sonderlich. Allerdings ist die Oberfläche des Kupferlackdrahtes sehr empfindlich. Daher muß die Reibung, die auf die Oberfläche wirkt, möglichst klein gehalten werden. Polierte Oberflächen an den Stellen, wo der Draht berührt wird und reiben könnte, sind daher zwingend notwendig. Bei extrem dünnen Drahtdurchmessern sind hohe Genauigkeiten und geringere Toleranzen in der Fertigung erforderlich, die im Bereich von wenigen hundertstel Millimetern liegen.

Moderne Spulenwickelmaschinen

Es werden heute komplette Maschinen zum Wickeln von Spulen gebaut, die vor allem in der Handhabung und den programmatischen Möglichkeiten sehr flexibel geworden sind. Sie bestehen fast alle aus:

- Wickelwerk
- Steuereinheit
- Leitspindel
- Führungsrollen für den Draht

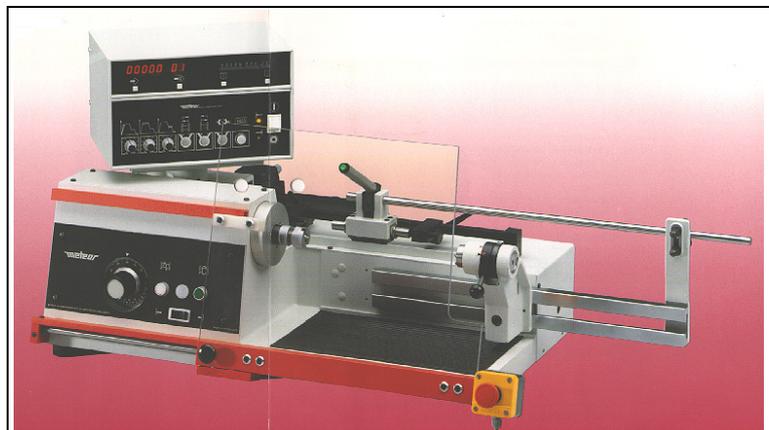


Bild 2.2.1: Moderne Wickelmaschine der Firma Meteor / Schweiz

Die Wickelgeschwindigkeit und die Positionierung läßt sich über eine Bedienungsfront einstellen.

Die Vorteile einer solchen Anlage sind:

- optimale Vorschubgeschwindigkeit (für die höchste Dichte der Spule) kann automatisch ermittelt werden
- komfortabel zu bedienen
- hohe Genauigkeit
- flexibler Einsatz für viele Spulenkörper

Die Nachteile sind:

- hohe Anschaffungskosten (Maschine aus Bild 2.2.1: 13.000 - 15.000 DM , je nach Ausstattung)
- Tonabnehmerspule muß ein bestimmtes Format haben (2 Löcher in Träger- und Deckplatte)
- keine besondere Vorspannungsregelung für Tonabnehmerspulen

Allein die hohen Anschaffungskosten sind für die meisten Kleinbetriebe zu hoch, vor allem wenn nur eine geringe Stückzahl von Spulen hergestellt werden soll. Die Vorteile sind beim alleinigen Wickeln von Tonabnehmerspulen nicht maßgebend und somit nicht überzeugend.

Die automatische Einstellung der Vorschubgeschwindigkeit ist nicht unbedingt sinnvoll, da sich mit der Dichte der Wicklung auch der Klang beeinflussen läßt, und diese somit gesondert einzustellen ist.

Die besonders hohen Genauigkeiten (die in Bild 2.2.1 abgebildete Maschine kann Draht von 0,01 mm wickeln) sind für Tonabnehmerspulen nicht unbedingt erforderlich (kleinster zu wickelnder Draht ist 0,06 mm).

Da nur Spulen für Tonabnehmer hergestellt werden sollen, ist eine große Flexibilität der Anlage ebenfalls nicht erforderlich.

Spulenwickelmaschinen für Tonabnehmer

Weil die Herstellung und Entwicklung eigener Tonabnehmer immer beliebter wird, interessieren sich auch immer mehr Kleinbetriebe in der Musikbranche für solche Geräte, denn das Wickeln von Hand bedeutet nicht nur einen erheblichen Aufwand, sondern verteuert auch die Spule. In Bild 2.2.2 ist die zur Zeit einzige Wickelmaschine abgebildet, die **nur** zur Herstellung von Tonabnehmerspulen dient. Es handelt sich jedoch nur um eine Vorrichtung die das Wickeln per Hand erleichtert.

Die von dem Hersteller angepriesenen Vorteile sind die vielen Kontrollmöglichkeiten auf die Wicklung und das besondere Design der Maschine.

Zum professionellen Herstellen von Pickups ist diese Vorrichtung allerdings nicht geeignet, da die Wicklung nicht automatisch abläuft und noch nicht ein-

mal der Antrieb elektrisch erfolgt. Der Preis dieser Maschine beträgt immerhin ca. 1500 DM.

Da bei der Herstellung von Tonabnehmerspulen besondere Regeln zu beachten sind, werden viele in Massenproduktion gefertigte Tonabnehmer oft von Musikern als „nicht gut“ oder „nicht musikalisch“ bezeichnet. Speziell diese Leute sind immer mehr auf der Suche nach neuen Tonabnehmern, die von wirklich fachkundigen Gitarrenbauern entwickelt und gebaut worden sind.

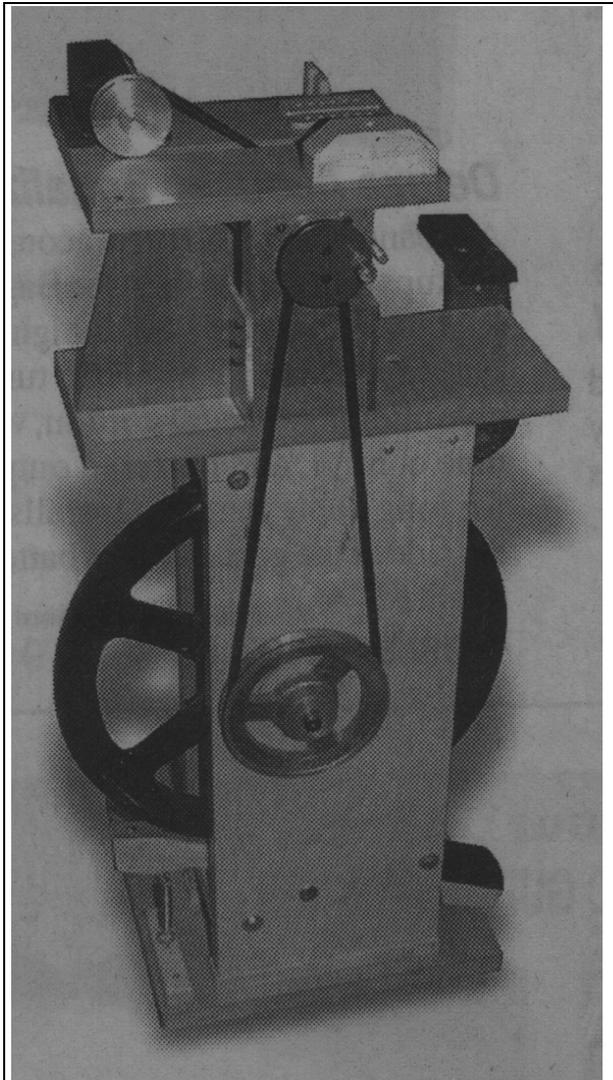


Bild 2.2.2: Tonabnehmer Wickelmaschine [21]

2.2 Grundlagen zu Spulenwickelmaschinen

Wickelmaschinen sind mit die ersten Maschinen, die mit Beginn unseres Jahrhunderts gebaut wurden. Die Textilindustrie wurde immer mehr industrialisiert und so wurden auch die ersten Grundlagen für solche Maschinen erarbeitet. Anfangs wurde noch sehr viel Regelaufwand vom Menschen verrichtet, später mechanisierte man diese Aufgaben immer weiter.

Grundsätzlich unterscheidet sich das Aufwickeln von Kupferlackdraht und Textilfasern nicht sonderlich. Allerdings ist die Oberfläche des Kupferlackdrahtes sehr empfindlich. Daher muß die Reibung, die auf die Oberfläche wirkt, möglichst klein gehalten werden. Polierte Oberflächen an den Stellen, wo der Draht berührt wird und reiben könnte, sind daher zwingend notwendig. Bei extrem dünnen Drahtdurchmessern sind hohe Genauigkeiten und geringere Toleranzen in der Fertigung erforderlich, die im Bereich von wenigen hundertstel Millimetern liegen.

Moderne Spulenwickelmaschinen

Es werden heute komplette Maschinen zum Wickeln von Spulen gebaut, die vor allem in der Handhabung und den programmatischen Möglichkeiten sehr flexibel geworden sind. Sie bestehen fast alle aus:

- Wickelwerk
- Steuereinheit
- Leitspindel
- Führungsrollen für den Draht

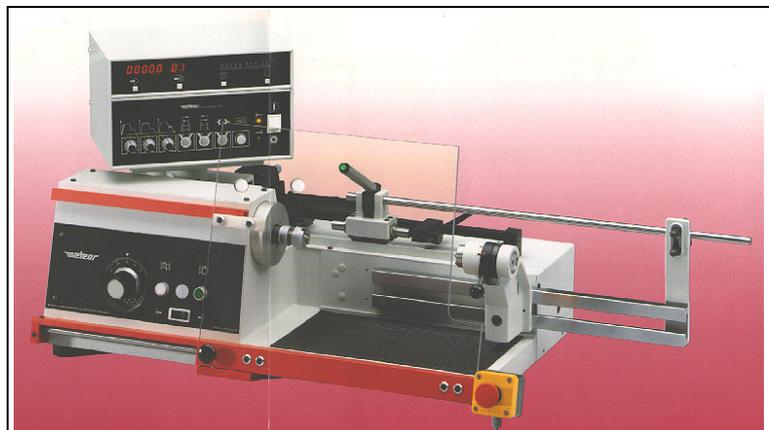


Bild 2.2.1: Moderne Wickelmaschine der Firma Meteor / Schweiz

Die Wickelgeschwindigkeit und die Positionierung läßt sich über eine Bedienungsfront einstellen.

Die Vorteile einer solchen Anlage sind:

- optimale Vorschubgeschwindigkeit (für die höchste Dichte der Spule) kann automatisch ermittelt werden
- komfortabel zu bedienen
- hohe Genauigkeit
- flexibler Einsatz für viele Spulenkörper

Die Nachteile sind:

- hohe Anschaffungskosten (Maschine aus Bild 2.2.1: 10.000 - 15.000 DM , je nach Ausstattung)
- Tonabnehmerspule muß ein bestimmtes Format haben (2 Löcher in Träger- und Deckplatte)
- keine besondere Vorspannungsregelung für Tonabnehmerspulen

Allein die hohen Anschaffungskosten sind für die meisten Kleinbetriebe zu hoch, vor allem wenn nur eine geringe Stückzahl von Spulen hergestellt werden soll. Die Vorteile sind beim alleinigen Wickeln von Tonabnehmerspulen nicht maßgebend und somit nicht überzeugend.

Die automatische Einstellung der Vorschubgeschwindigkeit ist nicht unbedingt sinnvoll, da sich mit der Dichte der Wicklung auch der Klang beeinflussen läßt, und diese somit gesondert einzustellen ist.

Die besonders hohen Genauigkeiten (die in Bild 2.2.1 abgebildete Maschine kann Draht von 0,01 mm Wickeln) sind für Tonabnehmerspulen nicht unbedingt erforderlich (kleinster zu wickelnder Draht ist 0,06 mm).

Da nur Spulen für Tonabnehmer hergestellt werden sollen, ist die Flexibilität der Anlage ebenfalls nicht erforderlich.

Spulenwickelmaschinen für Tonabnehmer

Weil die Herstellung und Entwicklung eigener Tonabnehmer immer beliebter wird, interessieren sich auch immer mehr Kleinbetriebe in der Musikbranche für solche Geräte, denn das Wickeln von Hand bedeutet nicht nur einen erheblichen Aufwand, sondern verteuert auch die Spule. In Bild 2.2.2 ist die zur Zeit einzige Wickelmaschine abgebildet, die **nur** zur Herstellung von Tonabnehmerspulen dient. Das ist allerdings auch nur eine Vorrichtung um das Wickeln per Hand zu erleichtern.

Die von dem Hersteller angepriesenen Vorteile sind die vielen Kontrollmöglichkeiten auf die Wicklung und das besondere Design.

Zum ernsthaften Herstellen von Pickups ist diese Vorrichtung allerdings nicht geeignet, da die Wicklung nicht automatisch abläuft und noch nicht einmal der Antrieb elektrisch erfolgt. Der Preis dieser Maschine beträgt immerhin ca. 1500 DM.

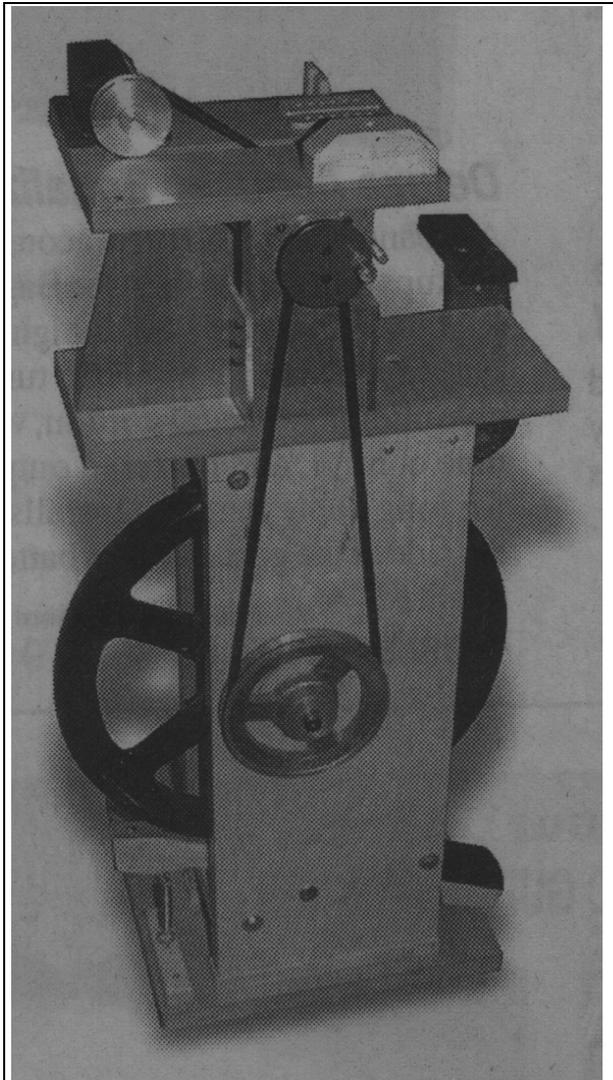
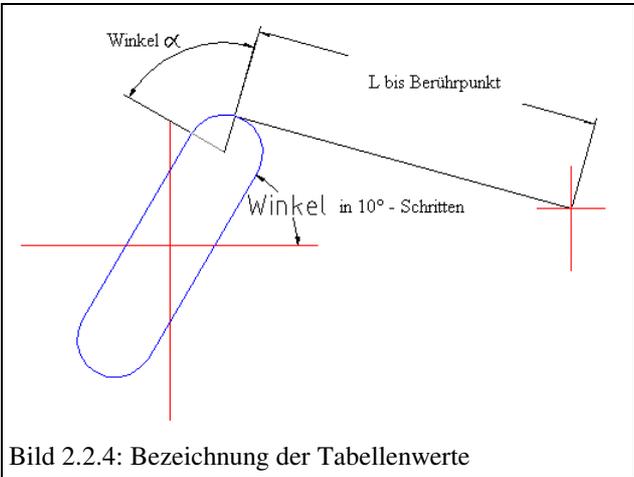
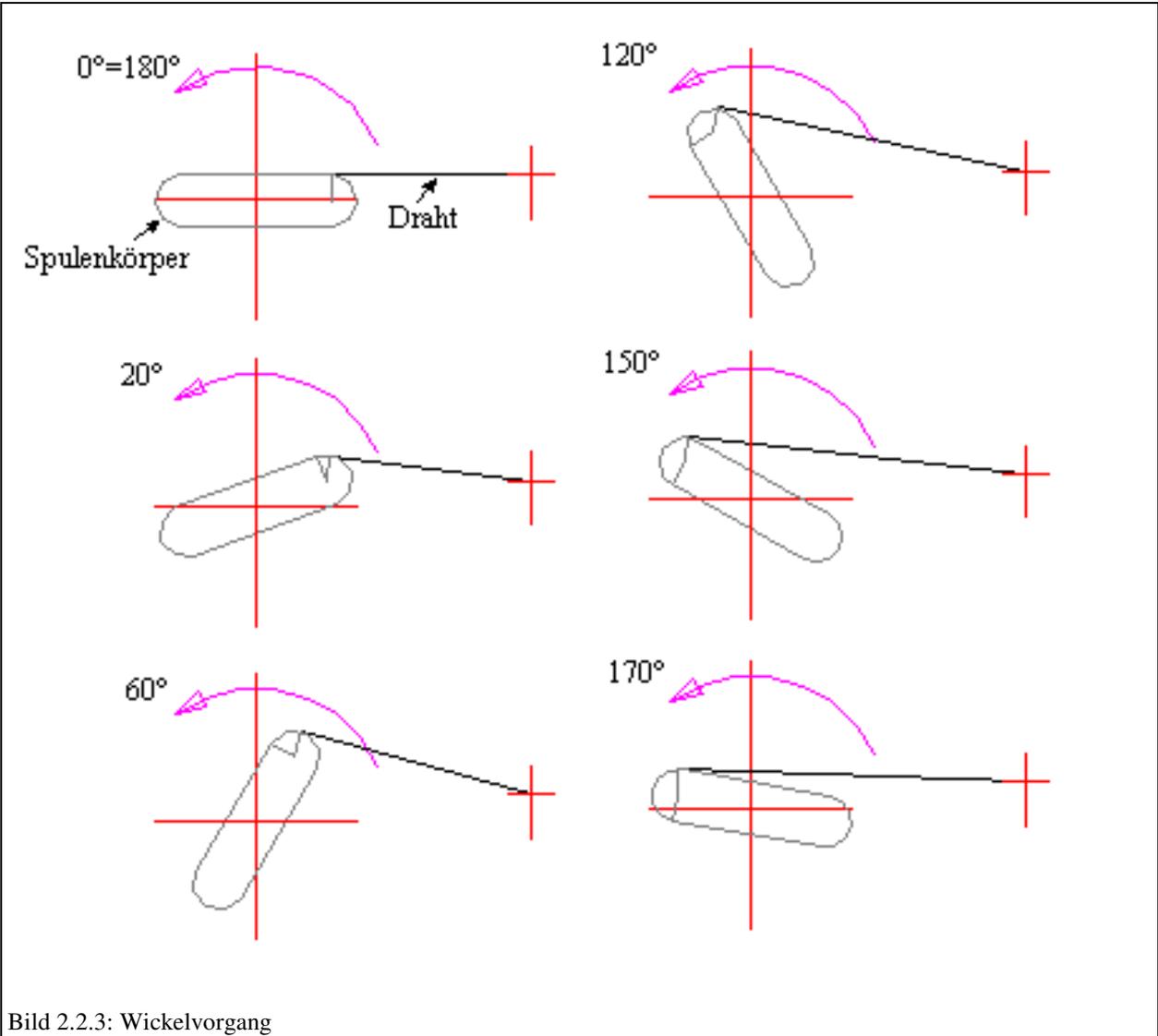


Bild 2.2.2: Tonabnehmer Wickelmaschine [21]

Da bei der Herstellung von Tonabnehmerspulen besondere Regeln zu beachten sind, werden viele in Massenproduktion gefertigte Tonabnehmer oft von Musikern als „nicht gut“ oder „nicht musikalisch“ bezeichnet. Speziell diese Leute sind immer mehr auf der Suche nach neuen Tonabnehmern, die von wirklich fachkundigen Gitarrenbauern entwickelt worden sind.

Beim Aufwickeln des Kupferlackdrahtes erfährt der Draht unterschiedliche Beschleunigungen. Das liegt an der speziellen Form des Spulenkörpers, wie in Bild 2.2.3 deutlich wird.



Bei 180° wiederholt sich der Vorgang. Es ist daher zu vermuten, daß die Bewegung zyklisch ablaufen muß. Um den Ablauf des Wickelvorgangs genauer zu beschreiben, werden im folgenden nun die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen untersucht. Dazu werden zunächst die Längenänderungen bei einer Drehung des in Bild 2.2.4 blau gezeichneten Spulenkörpers um 180° ermittelt. Alle Werte wurden mit Hilfe von *Autocad r 13* berechnet.

Dazu wurde in 10° - Schritten die Länge des Drahtes bis zum Berührungspunkt L ermittelt, sowie der Winkel α .

Zwischen den Werten werden die Differenzen ausgerechnet (in der Tabelle in rot geschrieben), damit eine Aussage über die Änderung des Drahtbedarfs gemacht werden kann. Dazu muß die Bogenlänge

$$b[\text{mm}] = \Delta\alpha[\text{rad}] * r[\text{mm}]$$

berechnet werden. Die Größe b ist die Länge Draht, die um einen Radius der Spule innerhalb eines 10° - Schrittes aufgewickelt wurde. Die gesamte Längenänderung des Drahtes ist nun:

$$\Delta L_{\text{ges}}[\text{mm}] = \Delta l [\text{mm}] + b [\text{mm}]$$

ΔL_{ges} ist die Länge Draht, die innerhalb eines 10° - Schrittes gefördert wurde.

Die Drehzahl wird in dieser Betrachtung mit 1 U/sec angenommen. Das bedeutet, daß eine 10° - Drehung genau 1/36 Sekunde dauert. Die zeitliche Änderung der Länge ΔL_{ges} , also die Geschwindigkeit des Drahtes berechnet sich deshalb mit:

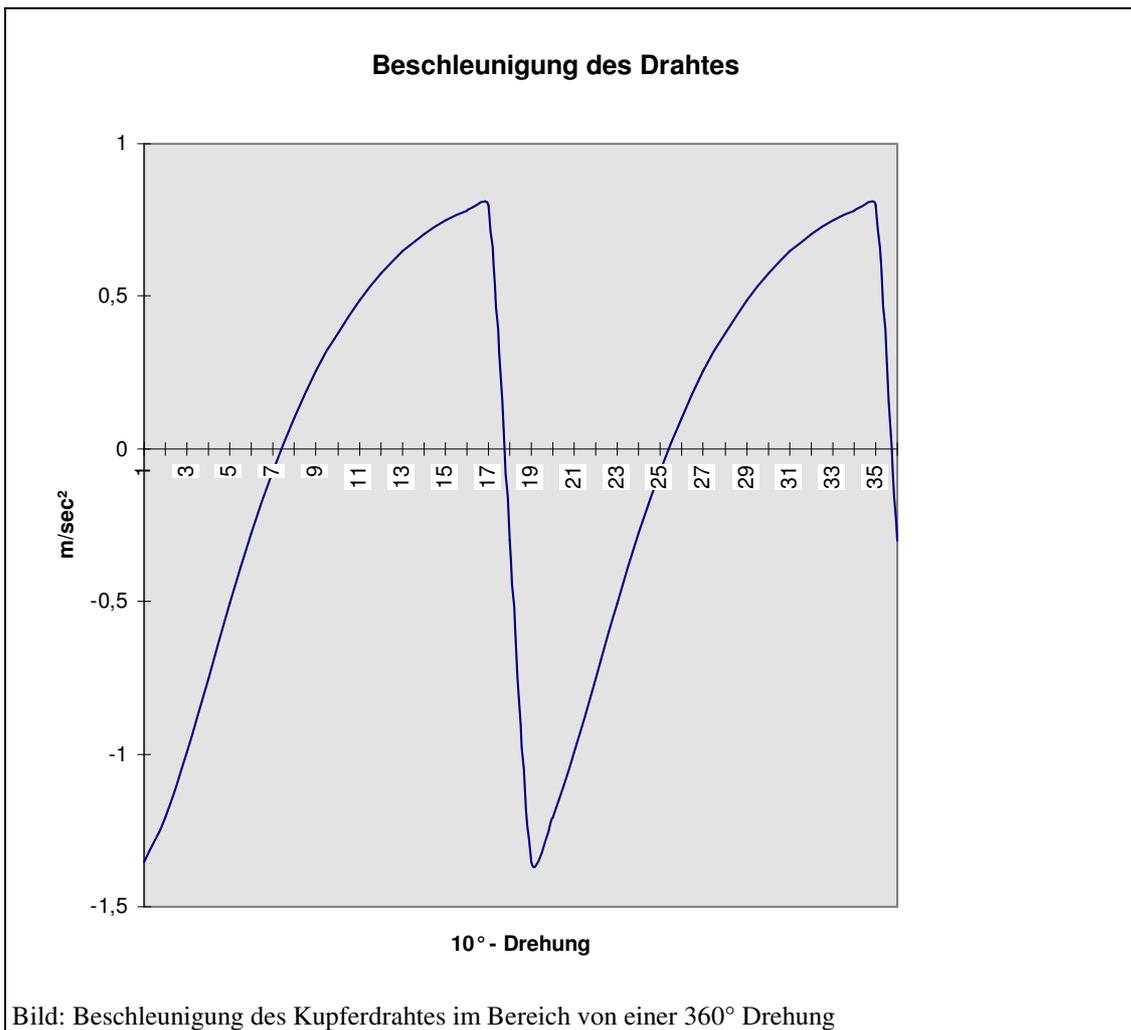
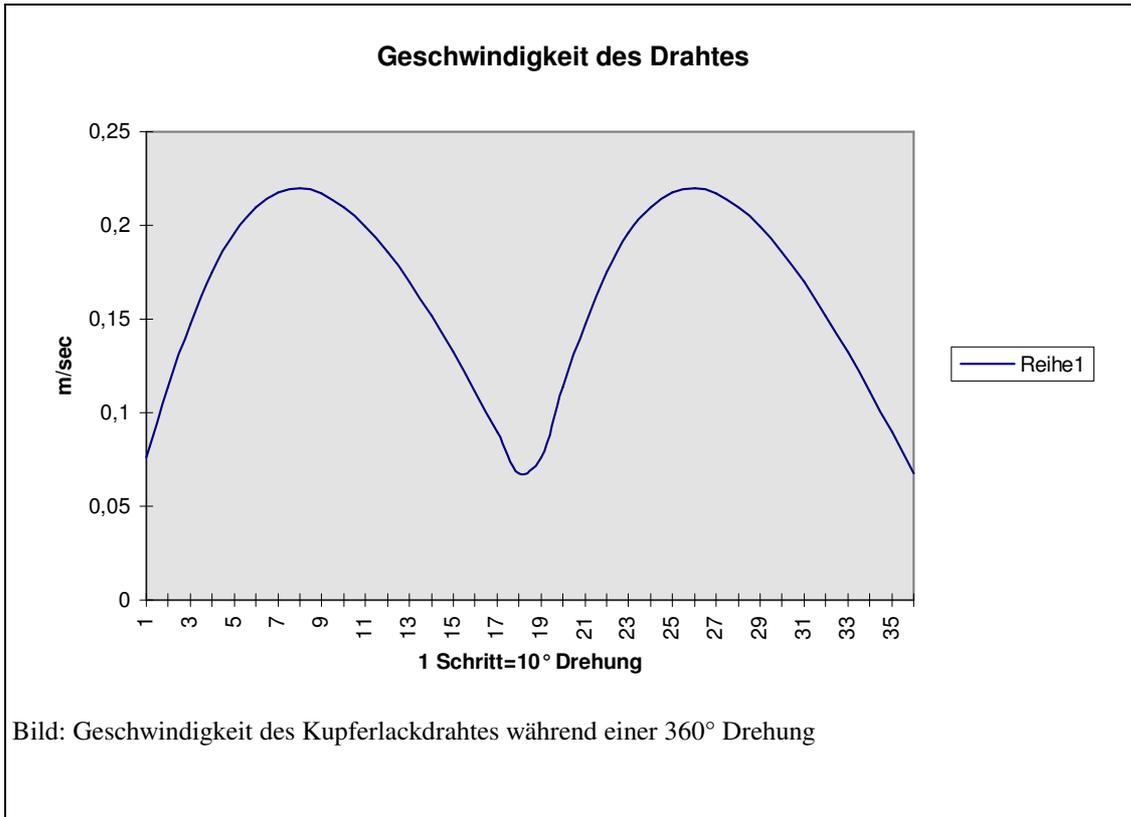
$$v [\text{m/sec}] = \Delta L_{\text{ges}} [\text{mm}] * 36 [\text{sec}^{-1}] * 10^{-3}$$

Die zeitliche Änderung der Geschwindigkeit, also die Beschleunigung berechnet sich aus der Differenz der Geschwindigkeiten von einem auf den folgenden Schritt während einer 10° - Drehung in der entsprechenden Zeit von 1/36 Sekunde:

$$a[\text{m/sec}^2] = v [\text{m/sec}] * 36 [\text{sec}^{-1}]$$

Tabelle: Drahtbedarf, Geschwindigkeit und Beschleunigung des Drahtes

[°]	L [mm]	Δl Draht [mm]	α [°]	$\Delta\alpha$ [°]	$\Delta\alpha$ [rad]	Bogen b [mm]	ΔL_{ges} [mm]	v[m/sec]	a[m/sec ²]
0	69		0						
		-0,0451		13,7382	0,2398	2,1580	2,1129	0,0761	
10	68,9549		13,7382						-1,3541
		1,0369		13,5018	0,2357	2,1209	3,1578	0,1137	
20	69,9918		27,24						-1,2084
		2,0418		13,0404	0,2276	2,0484	4,0902	0,1472	
30	72,0336		40,2804						-0,9960
		2,9058		12,4327	0,2170	1,9529	4,8587	0,1749	
40	74,9394		52,7131						-0,7525
		3,5916		11,7634	0,2053	1,8478	5,4394	0,1958	
50	78,531		64,4765						-0,5069
		4,0868		11,1008	0,1937	1,7437	5,8305	0,2099	
60	82,6178		75,5773						-0,2779
		4,3974		10,4884	0,1831	1,6475	6,0449	0,2176	
70	87,0152		86,0657						-0,0741
		4,5396		9,9472	0,1736	1,5625	6,1021	0,2197	
80	91,5548		96,0129						0,1020
		4,5337		9,4836	0,1655	1,4897	6,0234	0,2168	
90	96,0885		105,4965						0,2525
		4,4		9,0945	0,1587	1,4286	5,8286	0,2098	
100	100,4885		114,591						0,3795
		4,1576		8,7734	0,1531	1,3781	5,5357	0,1993	
110	104,6461		123,3644						0,4859
		3,8237		8,5124	0,1486	1,3371	5,1608	0,1858	
120	108,4698		131,8768						0,5741
		3,4135		8,3038	0,1449	1,3044	4,7179	0,1698	
130	111,8833		140,1806						0,6466
		2,9402		8,1407	0,1421	1,2787	4,2189	0,1519	
140	114,8235		148,3213						0,7040
		2,4163		8,0179	0,1399	1,2594	3,6757	0,1323	
150	117,2398		156,3392						0,7481
		1,8527		7,931	0,1384	1,2458	3,0985	0,1115	
160	119,0925		164,2702						0,7795
		1,2598		7,8767	0,1375	1,2373	2,4971	0,0899	
170	120,3523		172,1469						0,7981
		0,6477		7,8531	0,1371	1,2336	1,8813	0,0677	
180	121		180						-0,3002



Da bei 180° oder 0° die Geschwindigkeit und die Beschleunigung nicht genau bestimmbar ist, wird diese Stelle in 1° Schritten über einen Bereich von 170° bis 190° noch einmal untersucht. Dabei wird die Stellung 180° mit 0° bezeichnet.

Tabelle : Längenänderungen, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen im Umschlagpunkt

[°]	Drahtlänge		α [°]	$\Delta\alpha$ [°]	$\Delta\alpha$ [rad]	Bogen b[mm]	ΔL_{ges} [mm]	v[m/sec]	a[m/sec ²]
	L[mm]	Δl [mm]							
170	120,3523		172,1469						
		0,0926		0,7858	0,01371	0,1234	0,21603	0,0778	
171	120,4449		172,9327						-0,8056
		0,0864		0,7857	0,01371	0,1234	0,20982	0,0755	
172	120,5313		173,7184						-0,8076
		0,0802		0,7855	0,01371	0,1234	0,20359	0,0733	
173	120,6115		174,5039						-0,7926
		0,0741		0,7854	0,01371	0,1234	0,19747	0,0711	
174	120,6856		175,2893						-0,8076
		0,0679		0,7852	0,0137	0,1233	0,19124	0,0688	
175	120,7535		176,0745						-0,8035
		0,0617		0,7852	0,0137	0,1233	0,18504	0,0666	
176	120,8152		176,8597						-0,8056
		0,0555		0,7851	0,0137	0,1233	0,17882	0,0644	
177	120,8707		177,6448						-0,8056
		0,0493		0,785	0,0137	0,1233	0,17261	0,0621	
178	120,92		178,4298						-0,8015
		0,0431		0,7851	0,0137	0,1233	0,16642	0,0599	
179	120,9631		179,2149						-0,8035
		0,0369		0,7851	0,0137	0,1233	0,16022	0,0577	
0	69		0						0,29286
		-0,0538		1,3769	0,02403	0,2163	0,16248	0,0585	
1	68,9462		1,3769						1,42764
		-0,0428		1,377	0,02403	0,2163	0,1735	0,0625	
2	68,9034		2,7539						1,40653
		-0,0319		1,3767	0,02403	0,2163	0,18435	0,0664	
3	68,8715		4,1306						1,4045
		-0,021		1,3763	0,02402	0,2162	0,19519	0,0703	
4	68,8505		5,5069						1,40728
		-0,01		1,3754	0,02401	0,216	0,20605	0,0742	
5	68,8405		6,8823						1,39228
		0,0009		1,3744	0,02399	0,2159	0,21679	0,078	
6	68,8414		8,2567						1,4121
		0,012		1,3731	0,02397	0,2157	0,22769	0,082	
7	68,8534		9,6298						1,37803
		0,0229		1,3714	0,02394	0,2154	0,23832	0,0858	
8	68,8763		11,0012						1,376
		0,0338		1,3696	0,0239	0,2151	0,24894	0,0896	
9	68,9101		12,3708						1,38081
		0,0448		1,3674	0,02387	0,2148	0,25959	0,0935	
10	68,9549		13,7382						

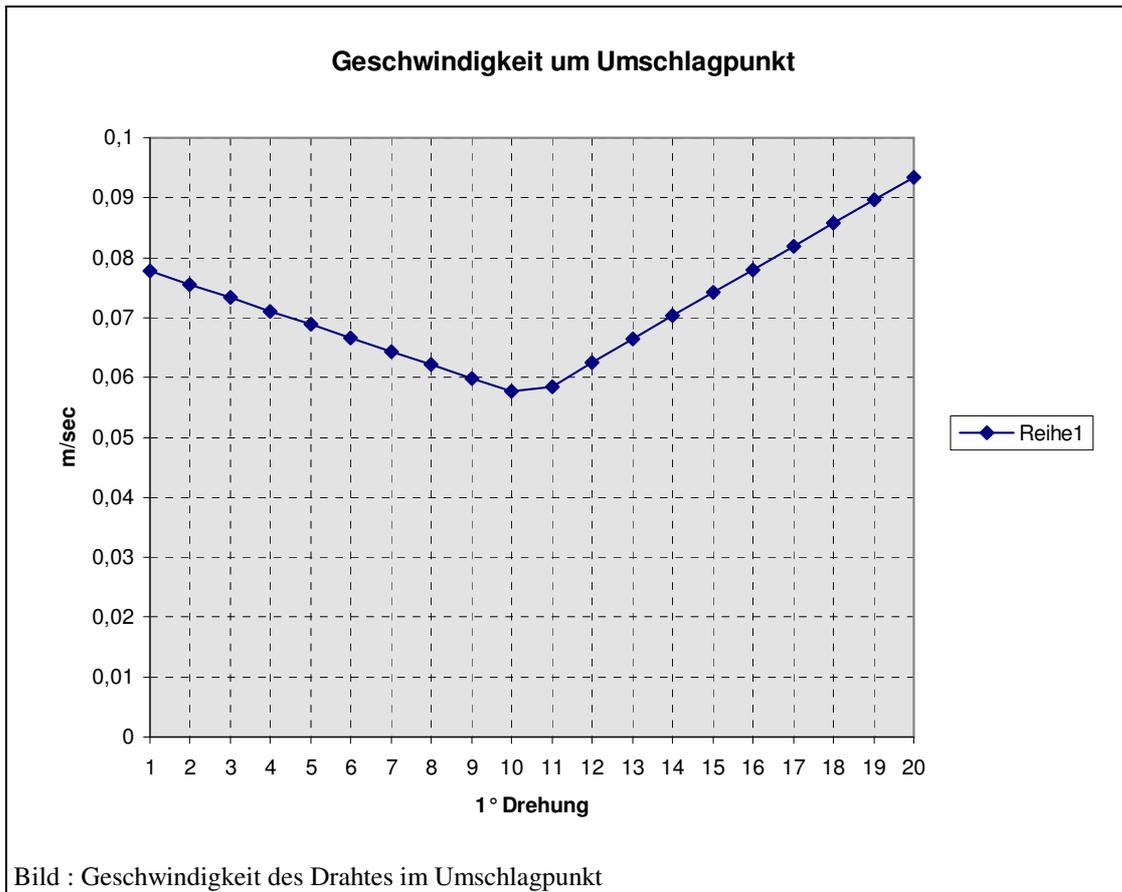


Bild : Geschwindigkeit des Drahtes im Umschlagpunkt

Tabelle: Zuordnung der Geschwindigkeitswerte zu den Positionen

Position	Stellung	Geschwindigkeit
1	170 °	0,0778 m/sec
2	171 °	0,0755 m/sec
3	172 °	0,0733 m/sec
4	173 °	0,0711 m/sec
5	174 °	0,0688 m/sec
6	175 °	0,0666 m/sec
7	176 °	0,0644 m/sec
8	177 °	0,0621 m/sec
9	178 °	0,0599 m/sec
10	179 °	0,0577 m/sec
11	180 °	0,0585 m/sec
12	181 °	0,0625 m/sec
13	182 °	0,0664 m/sec
14	183 °	0,0703 m/sec
15	184 °	0,0742 m/sec
16	185 °	0,078 m/sec
17	186 °	0,082 m/sec
18	187 °	0,0858 m/sec
19	188 °	0,0896 m/sec
20	189 °	0,0935 m/sec

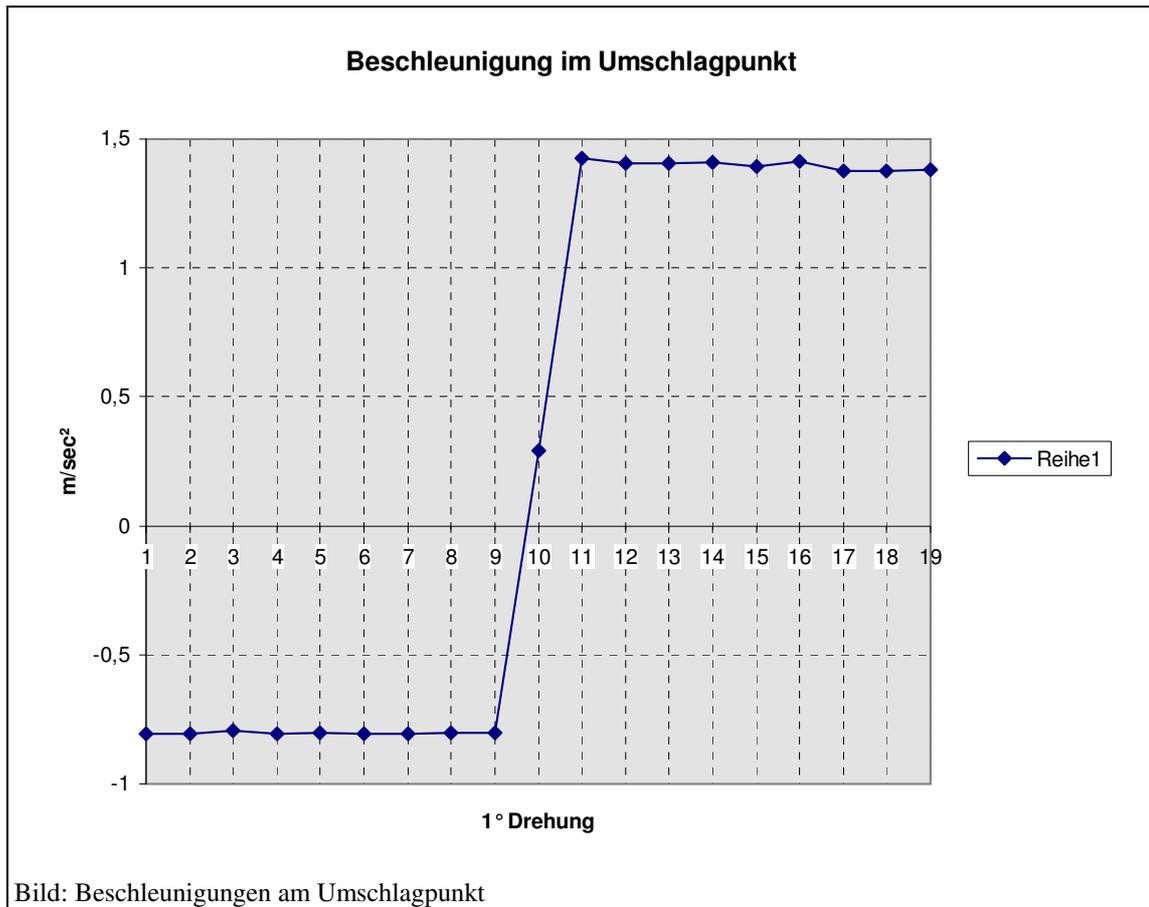
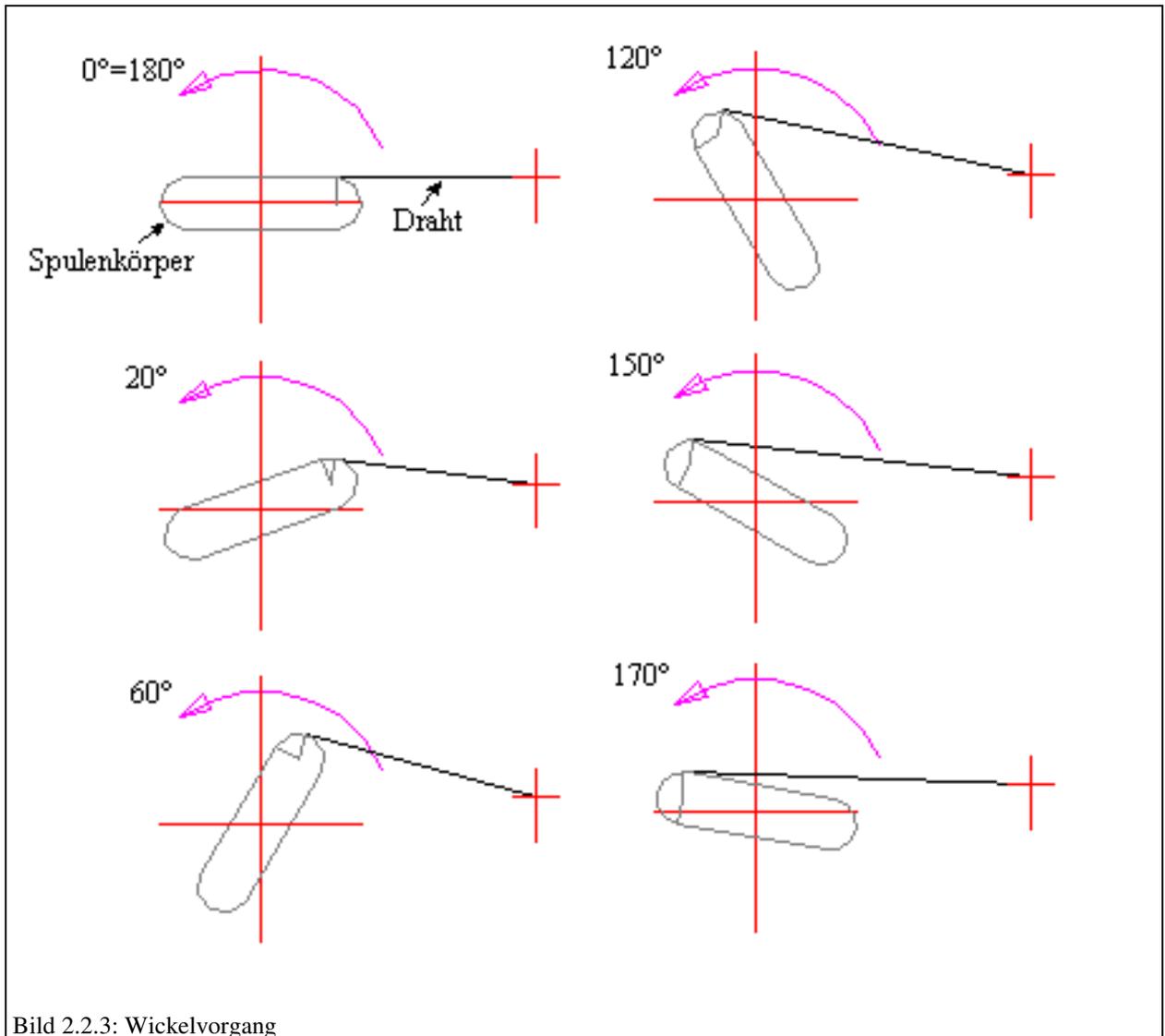


Tabelle: Zuordnung der Beschleunigungen zu den Positionen

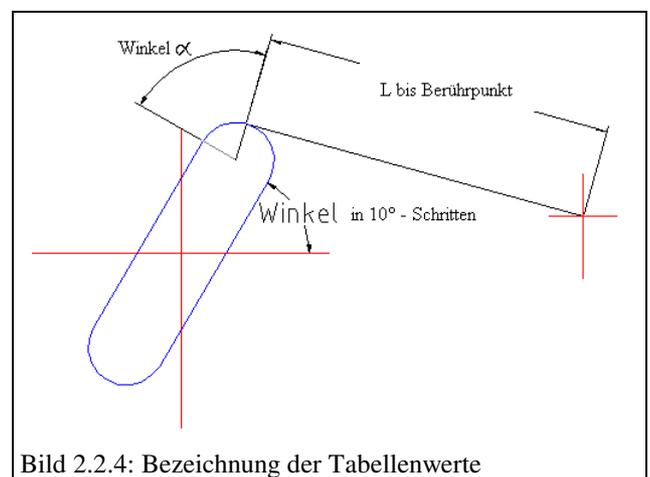
Position	Stellung	Beschleunigung
1	171 °	-0,8056 m/sec ²
2	172 °	-0,8076 m/sec ²
3	173 °	-0,7926 m/sec ²
4	174 °	-0,8076 m/sec ²
5	175 °	-0,8035 m/sec ²
6	176 °	-0,8056 m/sec ²
7	177 °	-0,8056 m/sec ²
8	178 °	-0,8015 m/sec ²
9	179 °	-0,8035 m/sec ²
10	180 °	0,2929 m/sec ²
11	181 °	1,4276 m/sec ²
12	182 °	1,4065 m/sec ²
13	183 °	1,4045 m/sec ²
14	184 °	1,4073 m/sec ²
15	185 °	1,3923 m/sec ²
16	186 °	1,4121 m/sec ²
17	187 °	1,378 m/sec ²
18	188 °	1,376 m/sec ²
19	189 °	1,3808 m/sec ²

2.3 Kinematische Grundlagen beim Wickeln von Tonabnehmerspulen



Beim Aufwickeln des Kupferlackdrahtes erfährt der Draht unterschiedliche Beschleunigungen. Das liegt an der speziellen Form des Spulenkörpers, wie in Bild 2.2.3 deutlich wird.

Bei 180° wiederholt sich der Vorgang. Daher muß die Bewegung zyklisch ablaufen. Um den Ablauf des Wickelvorgangs genauer zu beschreiben, werden im folgenden nun die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen untersucht. Dazu werden zunächst die Längenänderungen bei einer Drehung des in Bild 2.2.4 blau gezeichneten Spulenkörpers um 180° ermittelt. Alle Werte wurden mit Hilfe von *Autocad r 13* berechnet.



Dazu wurde in 10° - Schritten die Länge des Drahtes bis zum Berührungspunkt L ermittelt, sowie der Winkel α .

Zwischen den Werten werden die Differenzen ausgerechnet (in der Tabelle in rot geschrieben), damit eine Aussage über die Änderung des Drahtbedarfs gemacht werden kann. Dazu muß die Bogenlänge

$$b[\text{mm}] = \Delta\alpha[\text{rad}] * r[\text{mm}]$$

berechnet werden. Die Größe b ist die Länge Draht, die um einen Radius der Spule innerhalb eines 10° - Schrittes aufgewickelt wurde. Die gesamte Längenänderung des Drahtes ist nun:

$$\Delta L_{\text{ges}}[\text{mm}] = \Delta l [\text{mm}] + b [\text{mm}]$$

ΔL_{ges} ist die Länge Draht, die innerhalb eines 10° - Schrittes gefördert wurde.

Die Drehzahl wird in dieser Betrachtung mit 1 U/sec angenommen. Das bedeutet, daß eine 10° - Drehung genau 1/36 Sekunde dauert. Die zeitliche Änderung der Länge ΔL_{ges} , also die Geschwindigkeit des Drahtes berechnet sich deshalb mit:

$$v [\text{m/sec}] = \Delta L_{\text{ges}} [\text{mm}] * 36 [\text{sec}^{-1}] * 10^{-3}$$

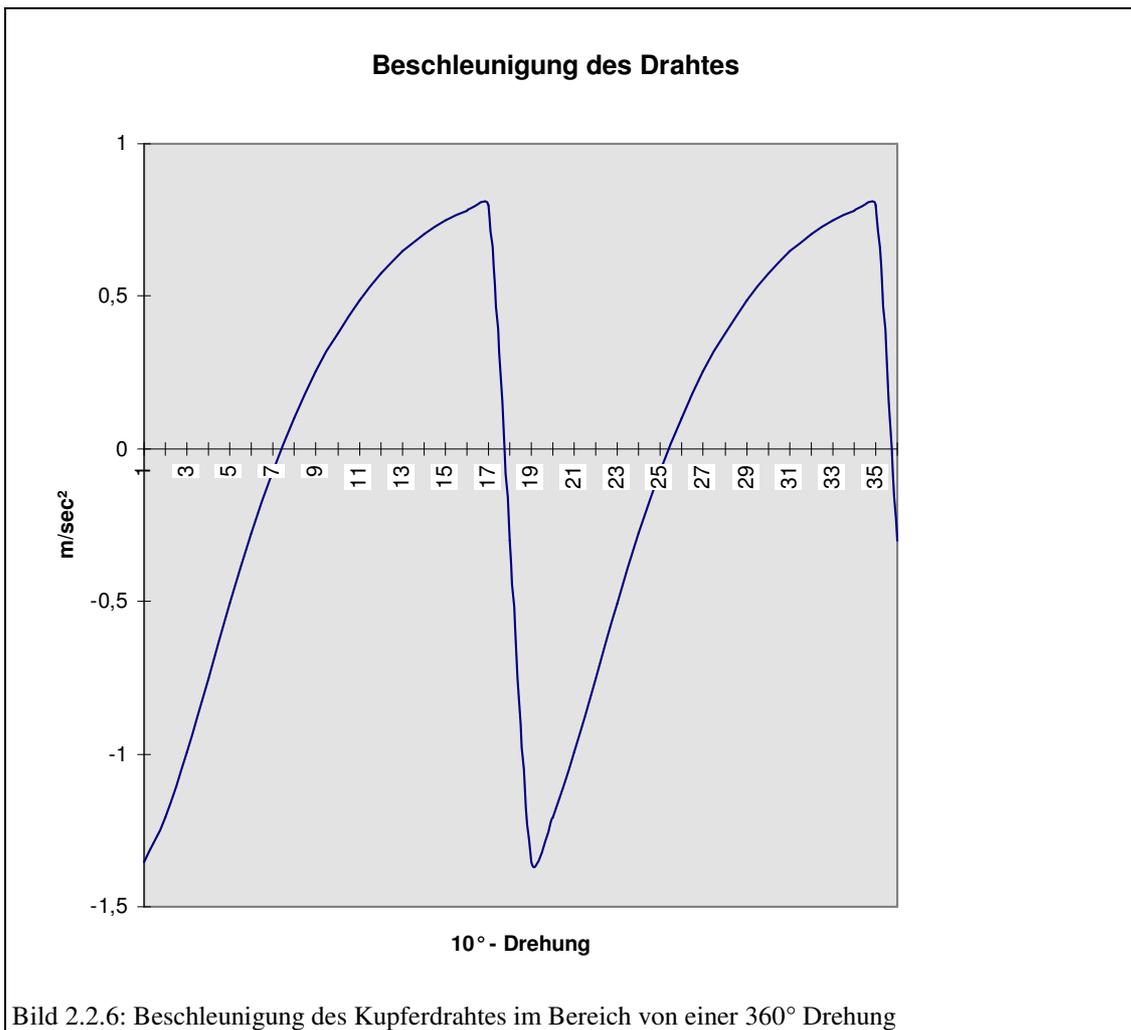
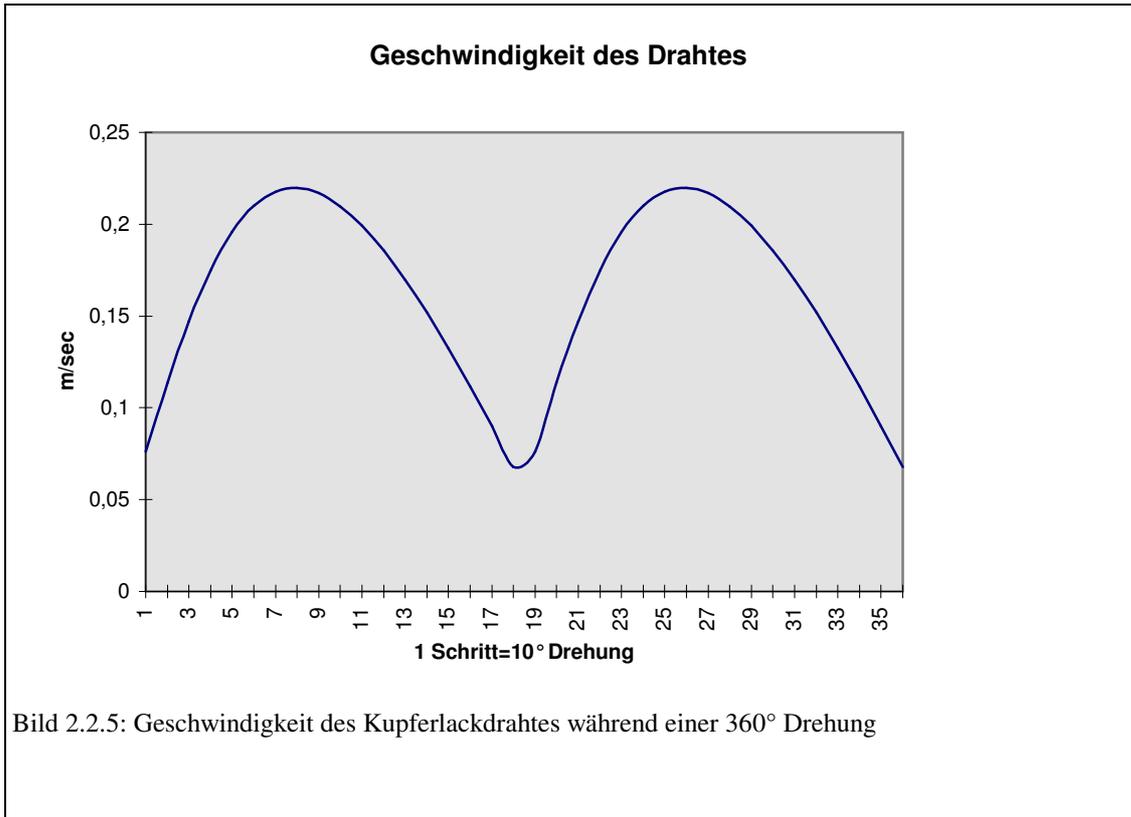
Die zeitliche Änderung der Geschwindigkeit, also die Beschleunigung berechnet sich aus der Differenz der Geschwindigkeiten von einem auf den folgenden Schritt während einer 10° - Drehung in der entsprechenden Zeit von 1/36 Sekunde:

$$a[\text{m/sec}^2] = v [\text{m/sec}] * 36 [\text{sec}^{-1}]$$

Tabelle 1: Drahtbedarf, Geschwindigkeit und Beschleunigung des Drahtes

(Die Zahlenwerte gelten für den „Normspulenkörper“ von Seite 12)

[°]	L [mm]	Δl Draht [mm]	α [°]	$\Delta\alpha$ [°]	$\Delta\alpha$ [rad]	Bogen b [mm]	ΔL_{ges} [mm]	v[m/sec]	a[m/sec ²]
0	69		0						
		-0,0451		13,7382	0,2398	2,1580	2,1129	0,0761	
10	68,9549		13,7382						-1,3541
		1,0369		13,5018	0,2357	2,1209	3,1578	0,1137	
20	69,9918		27,24						-1,2084
		2,0418		13,0404	0,2276	2,0484	4,0902	0,1472	
30	72,0336		40,2804						-0,9960
		2,9058		12,4327	0,2170	1,9529	4,8587	0,1749	
40	74,9394		52,7131						-0,7525
		3,5916		11,7634	0,2053	1,8478	5,4394	0,1958	
50	78,531		64,4765						-0,5069
		4,0868		11,1008	0,1937	1,7437	5,8305	0,2099	
60	82,6178		75,5773						-0,2779
		4,3974		10,4884	0,1831	1,6475	6,0449	0,2176	
70	87,0152		86,0657						-0,0741
		4,5396		9,9472	0,1736	1,5625	6,1021	0,2197	
80	91,5548		96,0129						0,1020
		4,5337		9,4836	0,1655	1,4897	6,0234	0,2168	
90	96,0885		105,4965						0,2525
		4,4		9,0945	0,1587	1,4286	5,8286	0,2098	
100	100,4885		114,591						0,3795
		4,1576		8,7734	0,1531	1,3781	5,5357	0,1993	
110	104,6461		123,3644						0,4859
		3,8237		8,5124	0,1486	1,3371	5,1608	0,1858	
120	108,4698		131,8768						0,5741
		3,4135		8,3038	0,1449	1,3044	4,7179	0,1698	
130	111,8833		140,1806						0,6466
		2,9402		8,1407	0,1421	1,2787	4,2189	0,1519	
140	114,8235		148,3213						0,7040
		2,4163		8,0179	0,1399	1,2594	3,6757	0,1323	
150	117,2398		156,3392						0,7481
		1,8527		7,931	0,1384	1,2458	3,0985	0,1115	
160	119,0925		164,2702						0,7795
		1,2598		7,8767	0,1375	1,2373	2,4971	0,0899	
170	120,3523		172,1469						0,7981
		0,6477		7,8531	0,1371	1,2336	1,8813	0,0677	
180	121		180						-0,3002



Da bei 180° oder 0° die Geschwindigkeit und die Beschleunigung nicht genau bestimmbar ist, wird diese Stelle in 1° Schritten über einen Bereich von 170° bis 190° noch einmal untersucht. Dabei wird die Stellung 180° mit 0° bezeichnet.

Tabelle 2: Längenänderungen, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen im Umschlagpunkt

[°]	Drahtlänge		α [°]	$\Delta\alpha$ [°]	$\Delta\alpha$ [rad]	Bogen b[mm]	ΔL_{ges} [mm]	v[m/sec]	a[m/sec ²]
	L[mm]	Δl [mm]							
170	120,3523		172,1469						
		0,0926		0,7858	0,01371	0,1234	0,21603	0,0778	
171	120,4449		172,9327						-0,8056
		0,0864		0,7857	0,01371	0,1234	0,20982	0,0755	
172	120,5313		173,7184						-0,8076
		0,0802		0,7855	0,01371	0,1234	0,20359	0,0733	
173	120,6115		174,5039						-0,7926
		0,0741		0,7854	0,01371	0,1234	0,19747	0,0711	
174	120,6856		175,2893						-0,8076
		0,0679		0,7852	0,0137	0,1233	0,19124	0,0688	
175	120,7535		176,0745						-0,8035
		0,0617		0,7852	0,0137	0,1233	0,18504	0,0666	
176	120,8152		176,8597						-0,8056
		0,0555		0,7851	0,0137	0,1233	0,17882	0,0644	
177	120,8707		177,6448						-0,8056
		0,0493		0,785	0,0137	0,1233	0,17261	0,0621	
178	120,92		178,4298						-0,8015
		0,0431		0,7851	0,0137	0,1233	0,16642	0,0599	
179	120,9631		179,2149						-0,8035
		0,0369		0,7851	0,0137	0,1233	0,16022	0,0577	
0	69		0						0,29286
		-0,0538		1,3769	0,02403	0,2163	0,16248	0,0585	
1	68,9462		1,3769						1,42764
		-0,0428		1,377	0,02403	0,2163	0,1735	0,0625	
2	68,9034		2,7539						1,40653
		-0,0319		1,3767	0,02403	0,2163	0,18435	0,0664	
3	68,8715		4,1306						1,4045
		-0,021		1,3763	0,02402	0,2162	0,19519	0,0703	
4	68,8505		5,5069						1,40728
		-0,01		1,3754	0,02401	0,216	0,20605	0,0742	
5	68,8405		6,8823						1,39228
		0,0009		1,3744	0,02399	0,2159	0,21679	0,078	
6	68,8414		8,2567						1,4121
		0,012		1,3731	0,02397	0,2157	0,22769	0,082	
7	68,8534		9,6298						1,37803
		0,0229		1,3714	0,02394	0,2154	0,23832	0,0858	
8	68,8763		11,0012						1,376
		0,0338		1,3696	0,0239	0,2151	0,24894	0,0896	
9	68,9101		12,3708						1,38081
		0,0448		1,3674	0,02387	0,2148	0,25959	0,0935	
10	68,9549		13,7382						

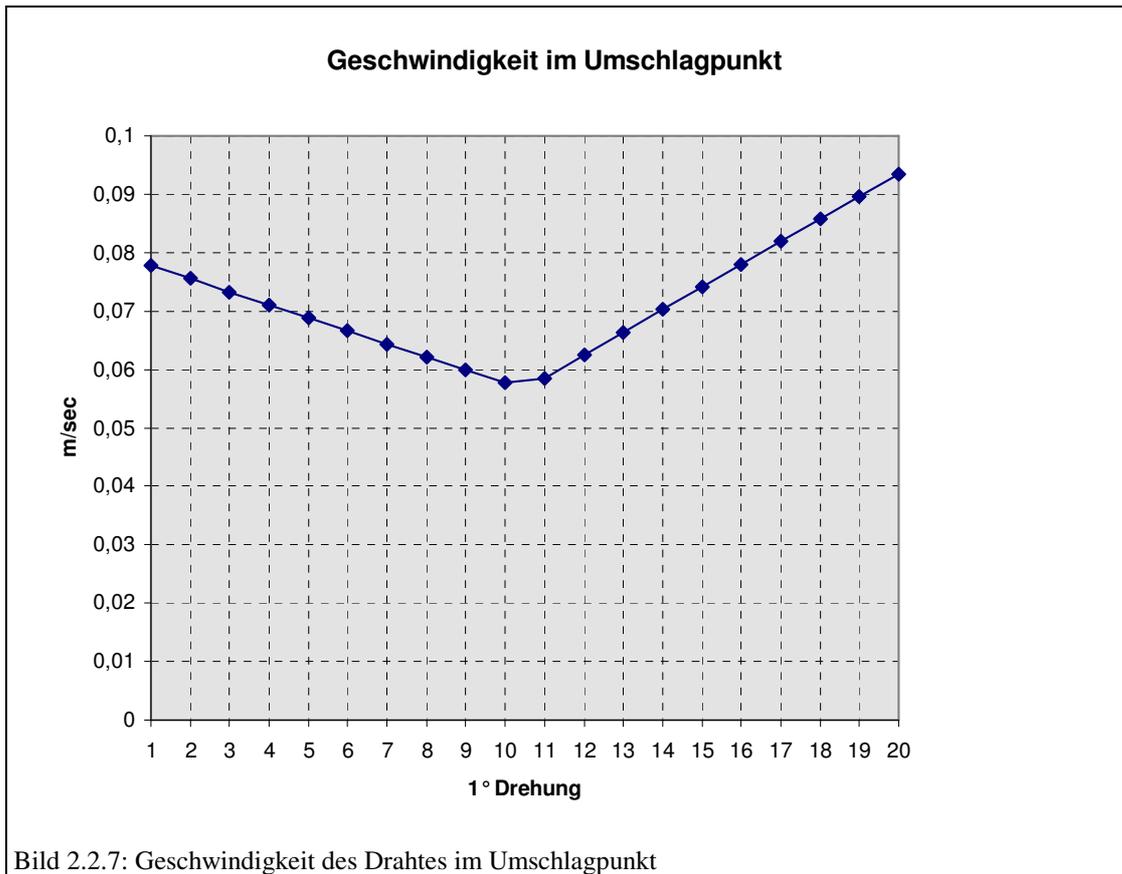


Tabelle 3: Zuordnung der Geschwindigkeitswerte zu den Positionen

Position	Stellung	Geschwindigkeit
1	170 °	0,0778 m/sec
2	171 °	0,0755 m/sec
3	172 °	0,0733 m/sec
4	173 °	0,0711 m/sec
5	174 °	0,0688 m/sec
6	175 °	0,0666 m/sec
7	176 °	0,0644 m/sec
8	177 °	0,0621 m/sec
9	178 °	0,0599 m/sec
10	179 °	0,0577 m/sec
11	180 °	0,0585 m/sec
12	181 °	0,0625 m/sec
13	182 °	0,0664 m/sec
14	183 °	0,0703 m/sec
15	184 °	0,0742 m/sec
16	185 °	0,0780 m/sec
17	186 °	0,0820 m/sec
18	187 °	0,0858 m/sec
19	188 °	0,0896 m/sec
20	189 °	0,0935 m/sec

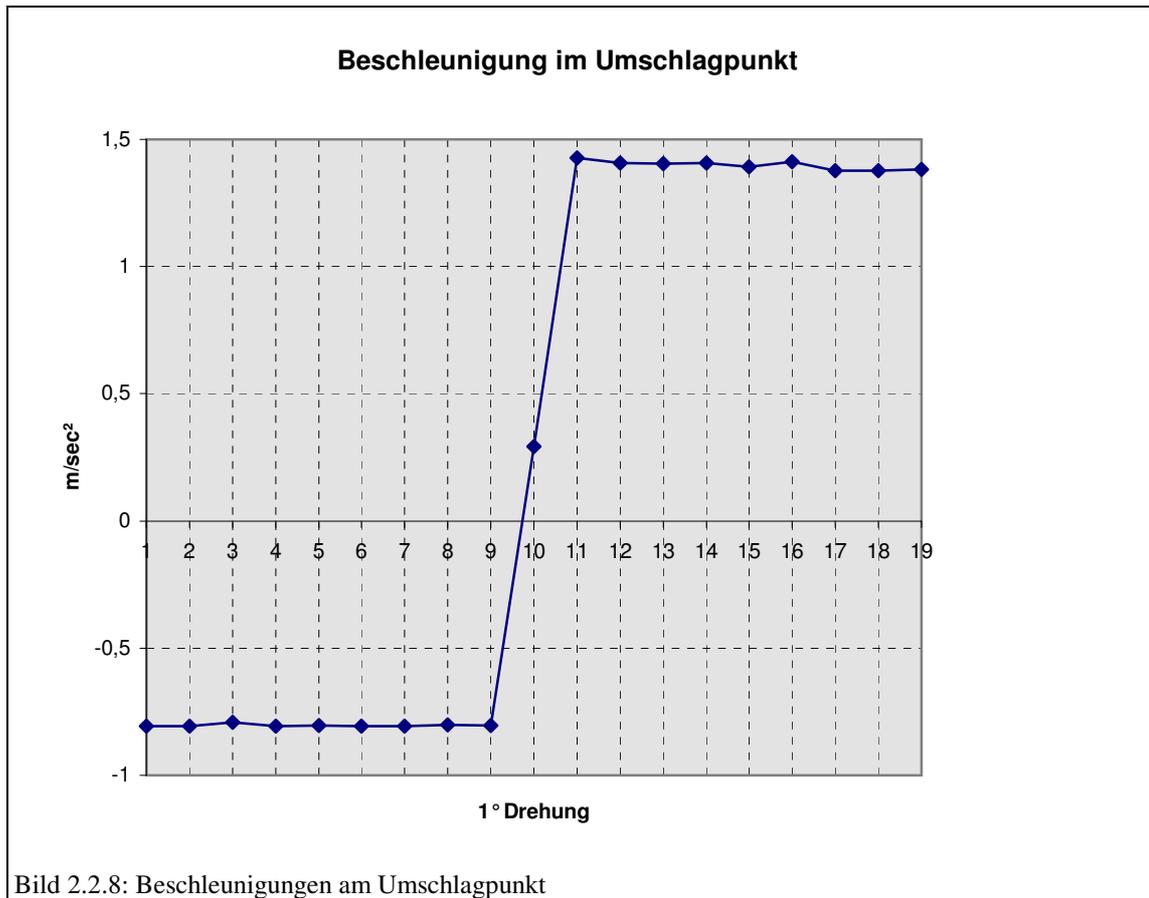


Tabelle 4: Zuordnung der Beschleunigungen zu den Positionen

Position	Stellung	Beschleunigung
1	171 °	-0,8056 m/sec ²
2	172 °	-0,8076 m/sec ²
3	173 °	-0,7926 m/sec ²
4	174 °	-0,8076 m/sec ²
5	175 °	-0,8035 m/sec ²
6	176 °	-0,8056 m/sec ²
7	177 °	-0,8056 m/sec ²
8	178 °	-0,8015 m/sec ²
9	179 °	-0,8035 m/sec ²
10	180 °	0,2929 m/sec ²
11	181 °	1,4276 m/sec ²
12	182 °	1,4065 m/sec ²
13	183 °	1,4045 m/sec ²
14	184 °	1,4073 m/sec ²
15	185 °	1,3923 m/sec ²
16	186 °	1,4121 m/sec ²
17	187 °	1,3780 m/sec ²
18	188 °	1,3760 m/sec ²
19	189 °	1,3808 m/sec ²

3 Konzeption einer neuen Wickelvorrichtung

3.1 Anforderungen an die Maschine

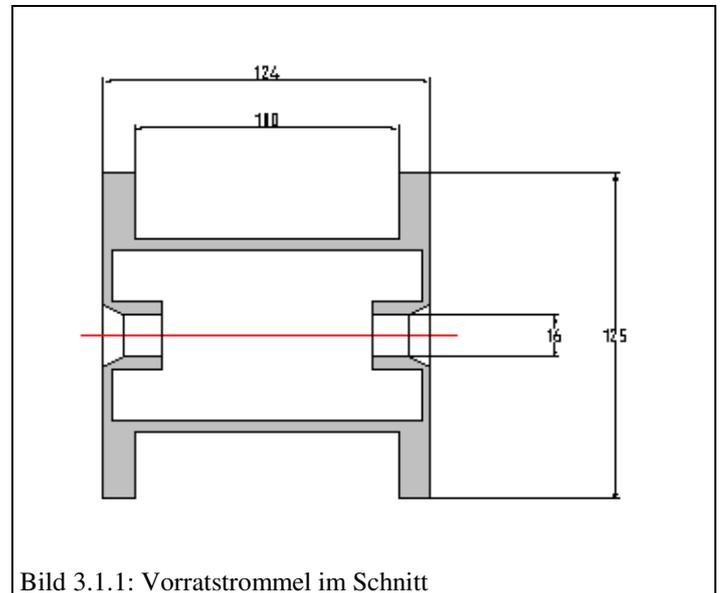
Der folgende Draht muß zu verarbeiten sein :

Kupferdraht mit Schutzlackierung, lötlbar

Kerndurchmesser: 0,05 bis 0,07 mm

Außendurchmesser: 0,06 bis 0,08 mm

Der Kupferdraht wird auf einer Vorrattrommel aus Kunststoff (Bild 3.1.1) geliefert.



Zulässige Spannung im Draht:

Das verwendete Kupfer hat eine maximale Zugfestigkeit von

$$\sigma_{\max} = 200 \text{ N/mm}^2 \text{ [16].}$$

Bei dem minimalen Drahtdurchmesser von

$$\varnothing d = 0,05 \text{ mm}$$

ergibt sich eine maximale Zugkraft im Draht

$$S = \sigma_{\max} * \frac{1}{4} * \pi * d^2 \approx 0,4 \text{ N.}$$

Ein Draht vom Durchmesser 0,05 mm reißt daher bei einer Belastung von mehr als 0,4 N.

Anforderungen zur Drahtverarbeitung:

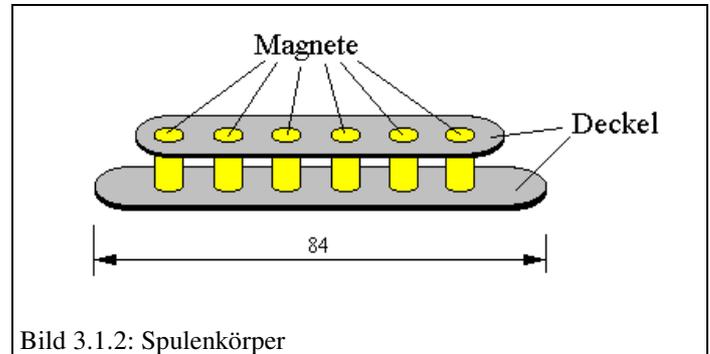
- Der Draht darf nicht zerreißen
- Der Draht darf keinen mechanischen Einwirkungen ausgesetzt werden, so daß seine Oberfläche beschädigt wird

- Der Draht sollte nicht vorgeformt werden
- Die Vorrattrommel sollte im hinteren Teil der Anlage stehen

Folgende Spulenkörper müssen umwickelt werden :

Gesamthöhe:	16 mm
Höhe der Spulendeckel:	3 mm
Breite der Spulendeckel:	18 mm
Länge der Spulendeckel:	84 bzw. 70 mm
Durchmesser der Magnete:	5 mm

An der Unterseite des größeren Deckels können sich noch zwei Lötösen befinden.



Diese dienen hauptsächlich zur Zugentlastung des Spulendrahtes. Sie schließen bündig mit der Unterseite des Deckels ab. Außerdem kann der untere Deckel noch Einkerbungen enthalten, durch die der Spulendraht auf die Rückseite geführt wird. Zur Herstellung der Wicklung sind die Kerben, sowie die Lötösen jedoch nicht von Bedeutung.

Anforderungen an die Struktur der Wicklung

- Es dürfen keinesfalls Drahtanhäufungen entstehen, die so groß sind, daß der Draht sich lockert.
- Der Spulendraht muß die Magnete fest und homogen umschließen.
- Dabei sollten die Abstände zwischen den einzelnen Drähten variabel einzustellen sein und zwar so, daß der maximale Abstand mindestens der des Drahtdurchmessers ist.
- Die Information über diesen Wert darf beim Abschalten der Anlage nicht verlorengehen.
- Wünschenswert wäre, wenn dieser Wert stufenlos einstellbar wäre.

Anforderungen zur Montage der Spulenkörper

- Der Spulenkörper darf beim Einspannen nicht beschädigt werden.
- Es dürfen zur Einspannung keine zusätzlichen Bohrungen oder Befestigungselemente an den Spulen erforderlich sein.

- Die Spulenkörper sollten ohne zusätzliches Werkzeug einfach und schnell eingespannt werden können.

Anforderungen zum Einstellen der Spulenhöhe

- Die Spulen dürfen keinesfalls an den Außenkanten soweit überlaufen, so daß der Kupferdraht am Ende des Wickelvorgangs die Deckel der Spulenkörper überragt.
- Die Information über die Spulenhöhe darf nicht verlorengehen, wenn die Maschine abgeschaltet wird.
- Es sollte möglich sein, die Spulengrenzen so genau einzustellen, daß keine Qualitätseinbußen bei der Spule erkennbar werden.

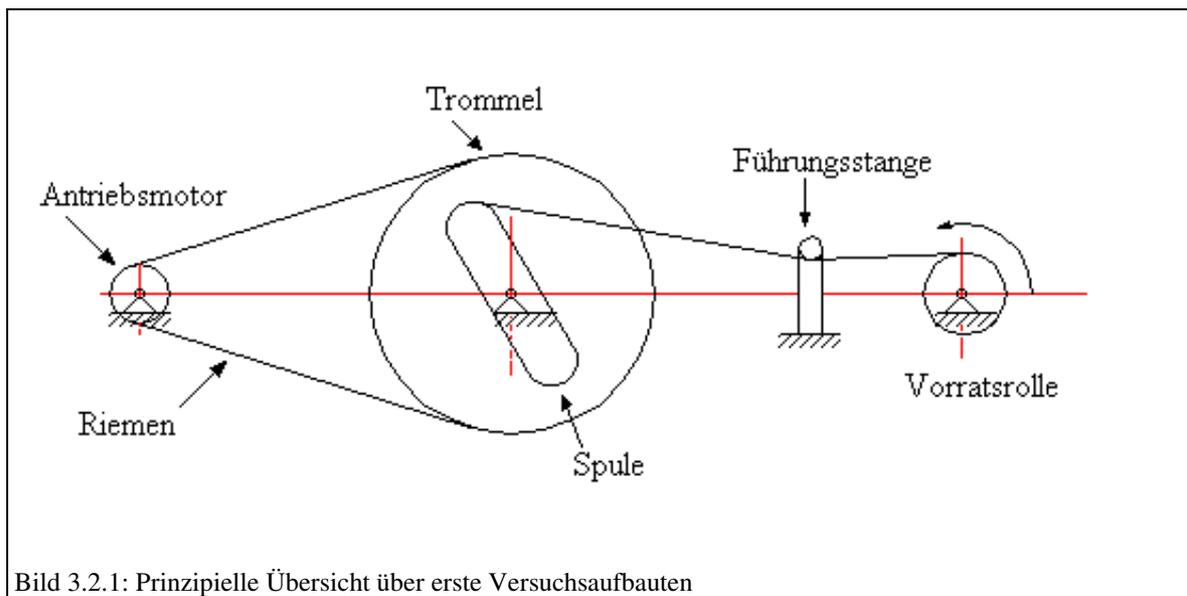
Anforderung Zeitbedarf

- Die Wickeldauer sollte einige (maximal 4) Stunden nicht überschreiten.
- Die Wicklung sollte maximal so schnell ablaufen, daß zur Not auch von Hand noch eingegriffen werden kann.

Sonstige Anforderungen

- Die Wicklungszahl muß einstellbar sein
- Der Wickelvorgang muß bei dem eingestellten Wert automatisch stoppen
- Zwischenwerte sollten ablesbar sein
- Die Kosten der Anlage sollten möglichst gering gehalten werden
- Die Kenntnisse, die in den Vorversuchen erlangt worden sind, sollten in die Konstruktion mit einfließen.
- Wünschenswert wäre eine auch optisch ansprechende Lösung

3.2 Vorversuche



Versuch 1:

Der erste Versuch eine Tonabnehmerspule zu wickeln, diente zur Ermittlung einer brauchbaren Spulenaufnahme und Wickelgeschwindigkeit. Der Spulenkörper wurde mit zwei Schrauben auf einer Achse befestigt, die von einer Trommel angetrieben wurde. Über die Trommel lief ein Riemen, der wiederum mit der Achse eines Elektromotors verbunden war. Nun wurden verschiedene Motoren mit verschiedenen Abtriebsdrehzahlen angeschlossen. Der Draht wurde beim Wickeln zunächst mit der Hand geführt und wickelte sich von der Vorratsrolle selbst ab. Zum Einsatz kam dann schließlich ein 220 V Wechselstrommotor mit einem vorgeetzten Getriebe. Die ermittelte Drehzahl lag im Bereich von **30 U/min** bis **100 U/min**.

Versuch 2:

Die folgenden Versuche dienten der Führung des Drahtes. Der verwendete Draht hatte einen Durchmesser von 0,1 mm und ließ sich anfangs zunächst problemlos führen. Probleme traten erst auf, als die abrollende Vorratsspule größer und somit träger wurde. Auf der einen Seite erhöhte sich zwar die Festigkeit der Wicklung, auf der anderen Seite jedoch zerriß der Draht leicht bei Wickelgeschwindigkeiten, die größer als $\frac{1}{2}$ U/sec waren. Außerdem waren die verwendeten Umlenkstrahlen (2,5 mm bis 3 mm) an einigen Führungsstangen zu klein oder deren Oberfläche zu rau, so daß die Spule einige Kurzschlüsse hatte. Diese Kurzschlüsse kann man sehr leicht feststellen, indem man die Spule auf ihren Widerstand hin überprüft und mit der Wicklungszahl vergleicht. Ist der Widerstand zu klein, so liegt in der Spule ein Kurzschluß vor, der sich bei der Wiedergabe in der Testgitarre durch Brummen (wegen der nicht ange-

schlossenen Masse) und durch eine geringere Ausgangsleistung bemerkbar macht. Daraufhin wurden die Führungsstangen durch andere Stangen mit größerem Durchmesser ersetzt und die Oberflächen wurden poliert. Die optimalen Radien liegen zwischen 5 mm und 10 mm.

Versuch 3:

Damit der gesamte Wickelvorgang sauber und ohne Zwischenfälle verläuft, also

- kein Zerreißen des Drahtes
- keine Bildung von Schlaufen auf der Spule
- kein Ablegen des Drahtes auf den Deckeln der Spulen
- kein Übertreten der Spulendeckel wie in Bild 3.2.2



Bild 3.2.2: Wicklung ohne Vorspannung (3500 Wicklungen)

auftreten kann muß der Draht während des Wickelvorgang gespannt sein.

Zunächst wurde dazu die Vorrattstrommel etwas gebremst. Die Lagerung mußte allerdings nahezu reibungsfrei sein, da die Lagerreibung mit abnehmendem Gewicht der Vorratsrolle ebenfalls abnahm. Die eigentliche Bremswirkung wurde durch ein Stück Schaumstoff erzielt, das die Vorrattstrommel berührte. Die so gewickelten Spulen waren schon sehr viel dichter, wie in Bild 3.2.3 zu sehen ist. Allerdings riß der Draht nun sehr schnell.



Bild 3.2.3: Wicklung mit Vorspannung (3500 Wicklungen)

Versuch 4:

Die weiteren Versuche führten - nach dem Vorbild einiger Wickelmaschinen die in der Firma „Hans von Mangoldt GmbH & Co. KG, Aachen“ besichtigt wurden - zu einem Bügel, der durch sein Eigengewicht zur Regelung der Drahtvorspannung diente. Bei der maximalen Aus-

lenkung riß der Draht, da die Spannung nicht mehr durch Bewegung des Bügels ausgeglichen werden konnte.

Versuche mit dem Vorspannen durch eine Feder wurden schnell verworfen, denn es wurde keine Feder gefunden, die die großen Auslenkungen (ca. 100 mm) tätigt ohne dabei Kräfte auszuüben die so groß sind, daß sie zum Zerreißen des Drahtes führen. Durch die Kennlinien der Federn bedingt, wurde gerade an der oberen Grenze der Auslenkung eine sehr große Kraft ausgeübt.

Versuch 5:

Aus diesem Grund entstand die Überlegung, ein Gewicht zur Vorspannungsregelung einzusetzen. Ein Gewicht übt in jeder Höhe den gleichen Andruck aus. Im Betrieb spielten

Trägheitskräfte bei den ermittelten Drehzahlen (siehe oben) keine große Rolle. Bei der Führung ergaben sich diverse Probleme, die allerdings durch ein paar Korrekturen behoben werden konnten. So gab es zum Beispiel Probleme mit dem Verkannten des Gewichts. Mindestens eine Bohrung mußte sehr genau ($\varnothing 4$ H7) und mindestens 3 mal so lang wie der Stangendurchmesser sein.

Versuch 6:

Im weiteren Verlauf der Vorversuche wurden Umlenkrollen verwendet, was allerdings eine ständige Spannung des zu führenden Drahtes voraussetzt. Am besten verhielten sich Kunststoffrollen mit Durchmessern von 10 bis 20 mm. Rollen aus Metall eignen sich nicht, da diese zu träge sind und der Draht

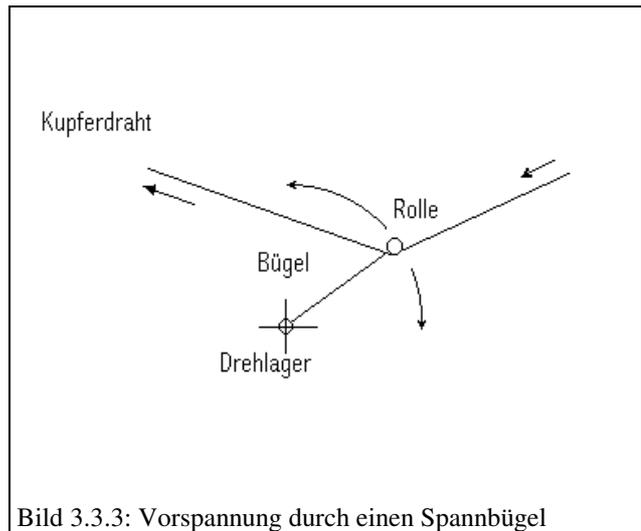


Bild 3.3.3: Vorspannung durch einen Spannbügel

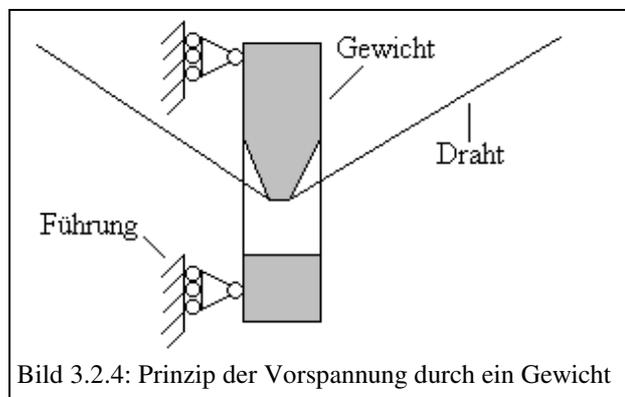


Bild 3.2.4: Prinzip der Vorspannung durch ein Gewicht

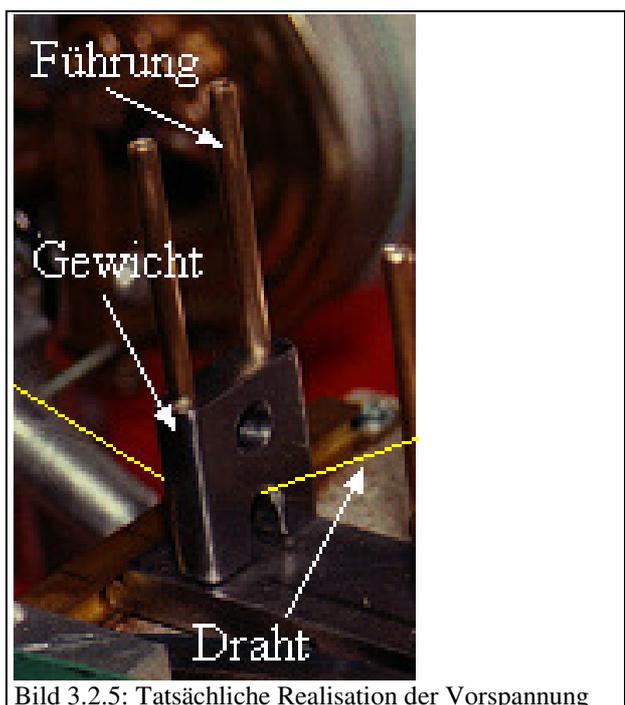


Bild 3.2.5: Tatsächliche Realisation der Vorspannung

leicht reißt, wenn er plötzliche Beschleunigungen erfährt.

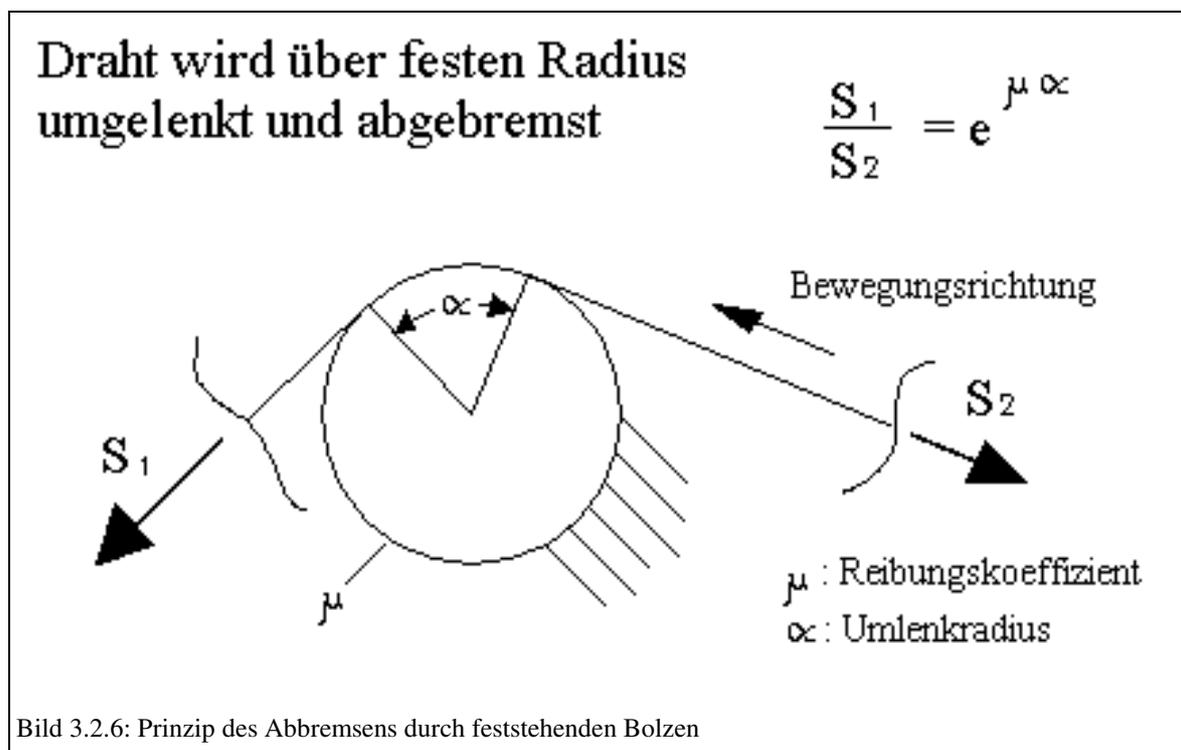
Versuch 7:

Zunächst wurde versucht, den Draht direkt abzubremsen, um eine geeignete Drahtspannung zu erzielen. Der erste Versuch sollte den Draht durch Reibung abbremsen. Zwei Backen aus Gummi sollten den Druck auf den Draht ausüben. Der Draht schnitt sich dabei jedoch in die Gummibacken ein. Das führte zum Blockieren und schließlich zum Zerreißen des Drahtes.

Nach Ersetzen der Backen durch Schaumstoff, führte das Einschneiden des Drahtes dazu, daß der Druck auf den Draht und somit die Spannung abnahm. Am besten bewährte sich noch eine erstaunlich einfache, preisgünstige und sichere Methode des Bremsens :

Der Draht wurde zwischen einen Papierstapel von ca. 10 bis 15 mm Höhe gelegt. Die Blätter, die den Draht berührten, mußten alle 7000 bis 10000 Wicklungen auswechselt werden. Das reicht um jeweils einen Tonabnehmer herzustellen.

Der Draht sollte bei diesen Bremstechniken nicht von der Rolle **abgerollt** werden, da dann (um ein Nachlaufen der Trommel zu vermeiden) ein zusätzliches Abbremsen der Trommel erforderlich wird. Dieses zusätzliche Abbremsen führte dann oft zum Zerreißen des Kupferlackdrahtes. Besser ist es dann, die Rolle vertikal zu positionieren und den Draht von oben **abzuziehen**. Dabei fällt der Draht von der Rolle ab. Bei dieser Form der Drahtentnahme ist man auch nicht an spezielle Vorrattrommeln gebunden, allerdings muß ein sauber aufgewi-



ckelter Draht vorausgesetzt werden. Bei nicht homogen aufgewickelten Rollen besteht die Gefahr, daß der Draht Schlaufen bildet, was dann zum Reißen führen kann.

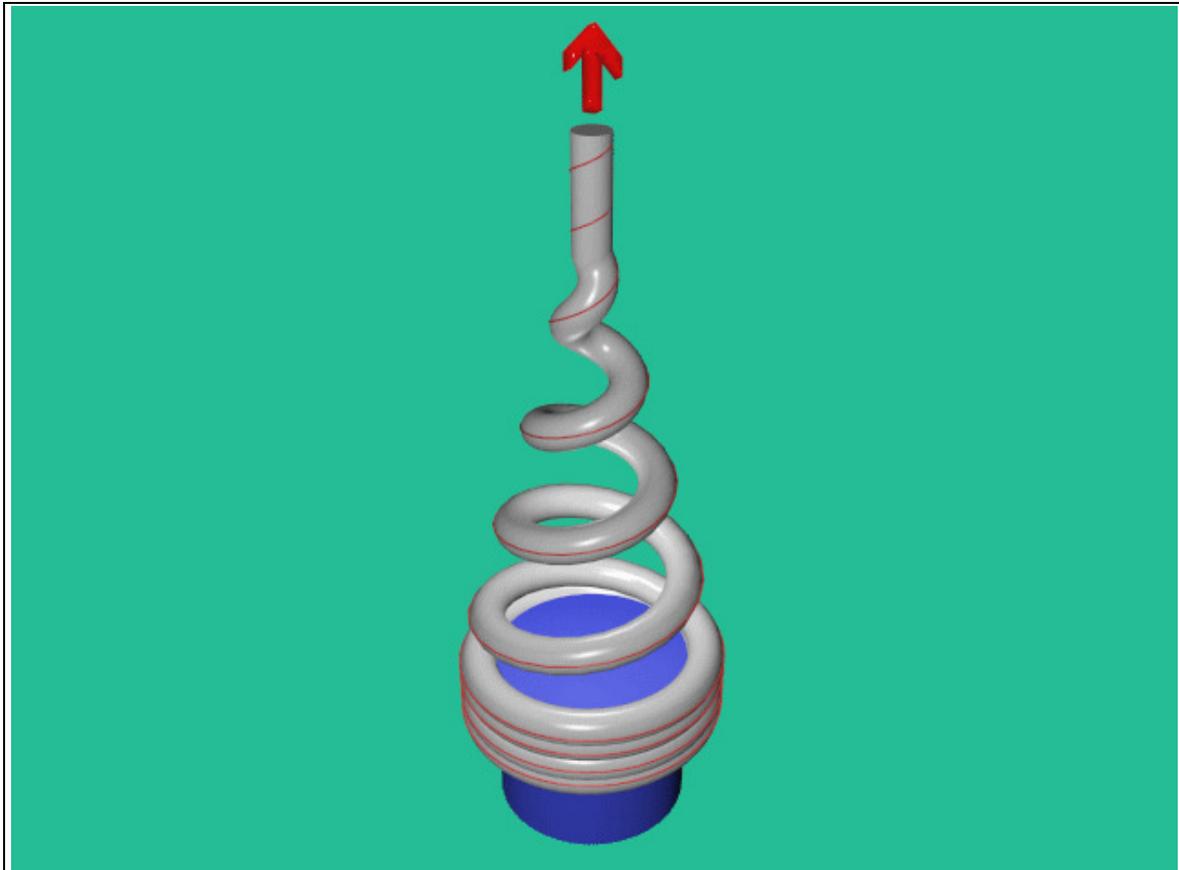


Bild 3.2.7: Verdrillung des Drahtes bei Drahtentnahme von feststehender Vorratsrolle im Modell (der dunkelblaue Zylinder soll mit dem Drahtende fest verbunden sein. Rot kennzeichnet eine äußere Faser des Drahtes)

Die Drahtentnahme von einer fest stehenden Trommel hat auch noch einen weiteren entscheidenden Nachteil:

Mit jeder Schlaufe verdrillt sich der Draht um 360° (siehe Bild 3.2.7). Das führt einerseits oft zur Schleifenbildung und daher zum Reißen während des Wickelvorgangs. Reißt der Draht an diesen Stellen aber nicht, so entstehen stark verformte Stellen, die einen höheren Widerstand haben, als der übrige Draht, was natürlich wieder Folgen auf Ausgangsleistung und Klang der Spulen hat. Tatsächlich waren die Wickelergebnisse hier schlecht.

Aus diesem Grund wurde das **Abwickeln** dem **Abziehen** von der Vorrattrommel vorgezogen. Eine weitere Möglichkeit des Bremsens war das Umwickeln eines fest montierten zylindrischen Bolzens. Das Abbremsen erfolgt dann nach dem Gesetz der Eitelwein'schen Gleichung (siehe Bild 3.2.6).

Da der Draht aber sehr stark auf den Bolzen gedrückt wird, wurde die Lackierung des Kupferlackdrahtes beschädigt und die Spulen hatten Kurzschlüsse. Die folgenden Tests wurden mit einer umwickelten Rollen gemacht, die dann abgebremst wurden. Die Ergebnisse waren dabei besser. Beide Verfahren setzen aber voraus, daß der Draht vor der Bremstrommel auch eine geringe Spannung (S_2) hat. Diese Spannung muß dann letztendlich wieder direkt am Draht erzeugt werden und damit wäre man wieder bei dem direkten Abbremsen. Die Vorteile liegen bei dieser Technik in der geringeren Reibung, die der Draht aufzunehmen hat. Der größte Teil kann über die Bremse aufgenommen werden.

Versuch 8:

Um saubere Lagen auf den Tonabnehmer zu wickeln, muß man schon eine sehr ruhige Hand haben. In der Praxis ist es aber kaum möglich mehrere tausend Wicklungen so auf die Spule zu wickeln, daß bei jeder Lage eine möglichst glatte Oberfläche entsteht. Daher war der Entwurf einer Vorrichtung zur Zustellung zwingend notwendig. Eine Verbesserung zur Zustellung per Hand war schon gegeben, indem man mit einem Gewindestift die Spanneinheit ebenfalls per Hand zustellte. Die Unregelmäßigkeit der Handzustellung blieb allerdings - wenn auch in geringerem Maße - erhalten. Außerdem war der manuelle Aufwand weiterhin enorm. Im Prinzip gibt es nun zwei Möglichkeiten eine gleichmäßige Zustellung zu gewährleisten:

- Die Verwendung einer Steuerscheibe
- Ein motorisch angetriebenes Gewinde

Wegen des geringeren elektronischen Steueraufwandes wurde zunächst eine Steuerscheibe

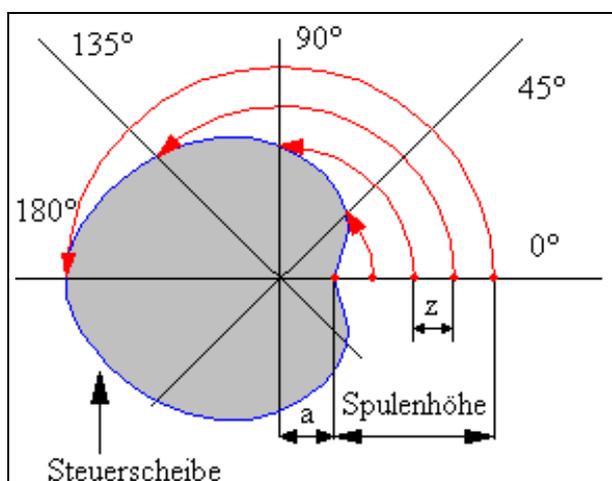


Bild 3.2.8 : Konstruktion der Steuerscheibe (für $a > 0$)
 (Die Spulenhöhe ist der Weg, den der Draht mit konstanter Geschwindigkeit hin- und hergeführt wird) 33

entworfen. Ein Kurbelgetriebe kam nicht in Frage, da der Vorschub möglichst gleichmäßig sein sollte. Eine Scheibe, die sich mit konstanter Drehzahl dreht, sollte einen Meißel führen, der dann den Draht führt. Dazu wurden zunächst 4 gleiche Strecken (in Bild 3.2.6 mit z bezeichnet) abgetragen, die in ihrer Summe die Spulenhöhe ergeben. Diese so entstandenen 5 Punkte wurden nun auf einem Winkel von

180° verteilt, wobei jeder Punkt einen Radius festlegt.

Es ergab sich eine herzförmige Kurve, deren Form sich auch aus zwei parametrischen Gleichungen erzeugen läßt.

$$\begin{aligned}x(t) &= \cos(t) + \cos^2(t) \\ y(t) &= \sin(t) + \sin(t) \cdot \cos(t)\end{aligned}$$

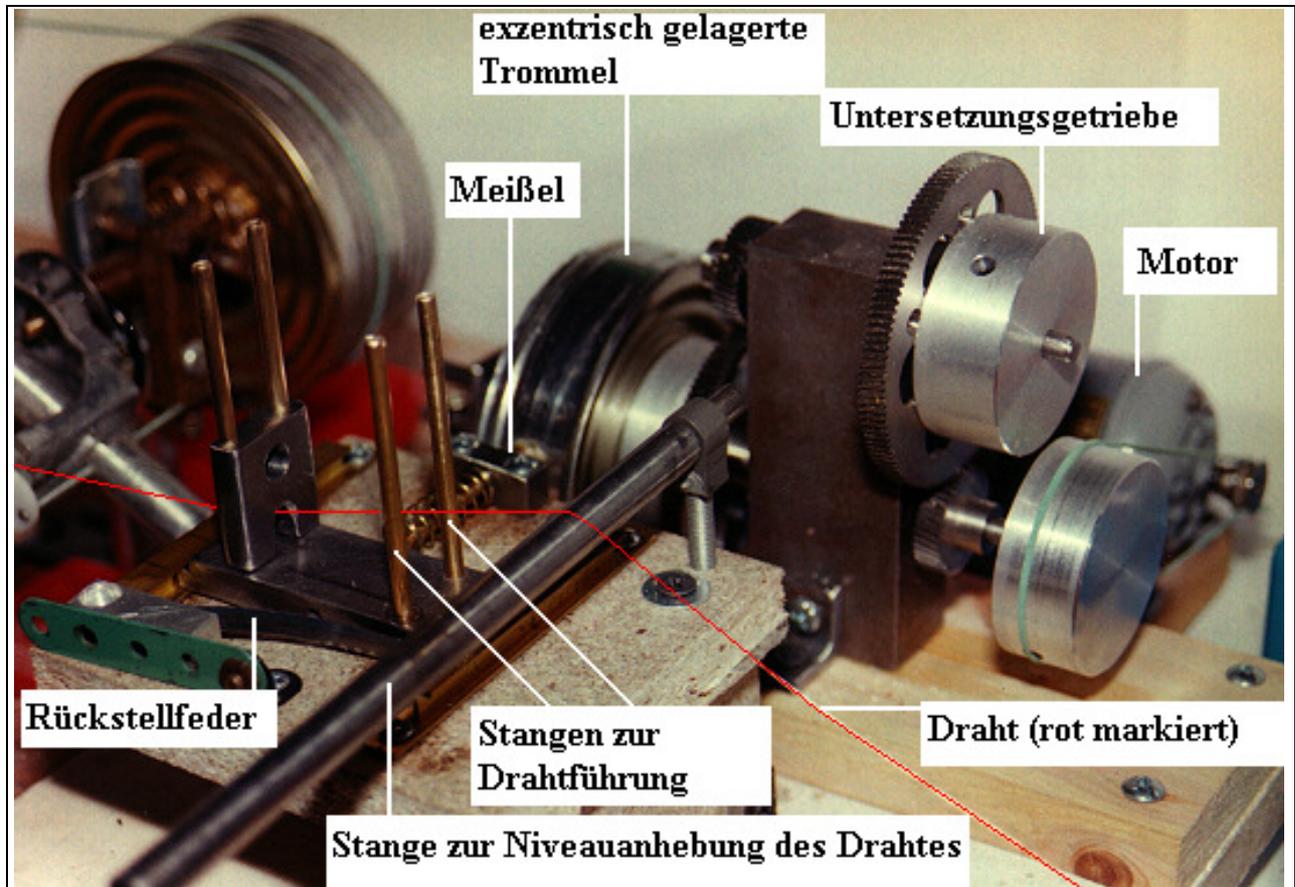


Bild 3.2.9 : Vorversuche mit einer speziellen Verstellereinrichtung

Ein Meißel, der die rotierende Steuerscheibe abfährt, ändert jeweils bei 0° und bei 180° seine Richtung. Bei 0° ergeben sich Probleme, da die Kerbe nicht unendlich genau angefahren werden kann. Der Meißel hat, um Verschleiß zu vermeiden, bei Steuerscheiben auch noch oft eine Rolle, die ebenfalls einen Radius hat, der nicht zu klein sein darf. Vergrößert man die Scheibe allerdings stark (also vergrößert den Wert a aus Bild 3.2.6), so nähert sich das Aussehen immer mehr einem Kreis. Aus diesem Grunde wurden einige Versuche mit einer exzentrisch gelagerten Trommel durchgeführt. Diese Trommel muß sich sehr langsam bewegen. In den durchgeführten Versuchen waren die Drehzahlen von 0,7 bis 1,3 U/min. Diese Möglichkeit der Verstellung ist konstruktiv sehr aufwendig und erfordert einen relativ großen Platzbedarf, wie man auf dem Bild 3.2.7 erkennen kann. Außerdem ist die Verstellbewegung oft nicht gleichmäßig, da die Drehzahl zu langsam ist und deshalb der Meißel zum kurzen Haften an der Trommeloberfläche neigt. Aus diesen Gründen wurde diese Art der Verstellung nicht weiter verfolgt.

Bei den ersten (ca. 10 Stück) Tonabnehmern, die hergestellt wurden, diente eine Schraube zur Zustellung der Verstellbewegung. Diese Schraube wurde zunächst von Hand verstellt, was eine ständige Anwesenheit während des Wickelvorgangs erforderte. Auch der spätere Antrieb der Schraube von einem kleinen Gleichstrommotor mit Vorsatzgetriebe änderte daran nichts, da die Richtungsumschaltung weiterhin von Hand getätigt wurde. Diese Art der Zustellung ergab allerdings wesentlich bessere Wickelergebnisse als die Zustellung mit der Steuerscheibe.

3.3 Aufbau der Maschine

Die gesamte Anlage setzt sich aus drei großen Teilen zusammen:

- Abwickeleinheit
- Wickeleinheit
- Steuerung

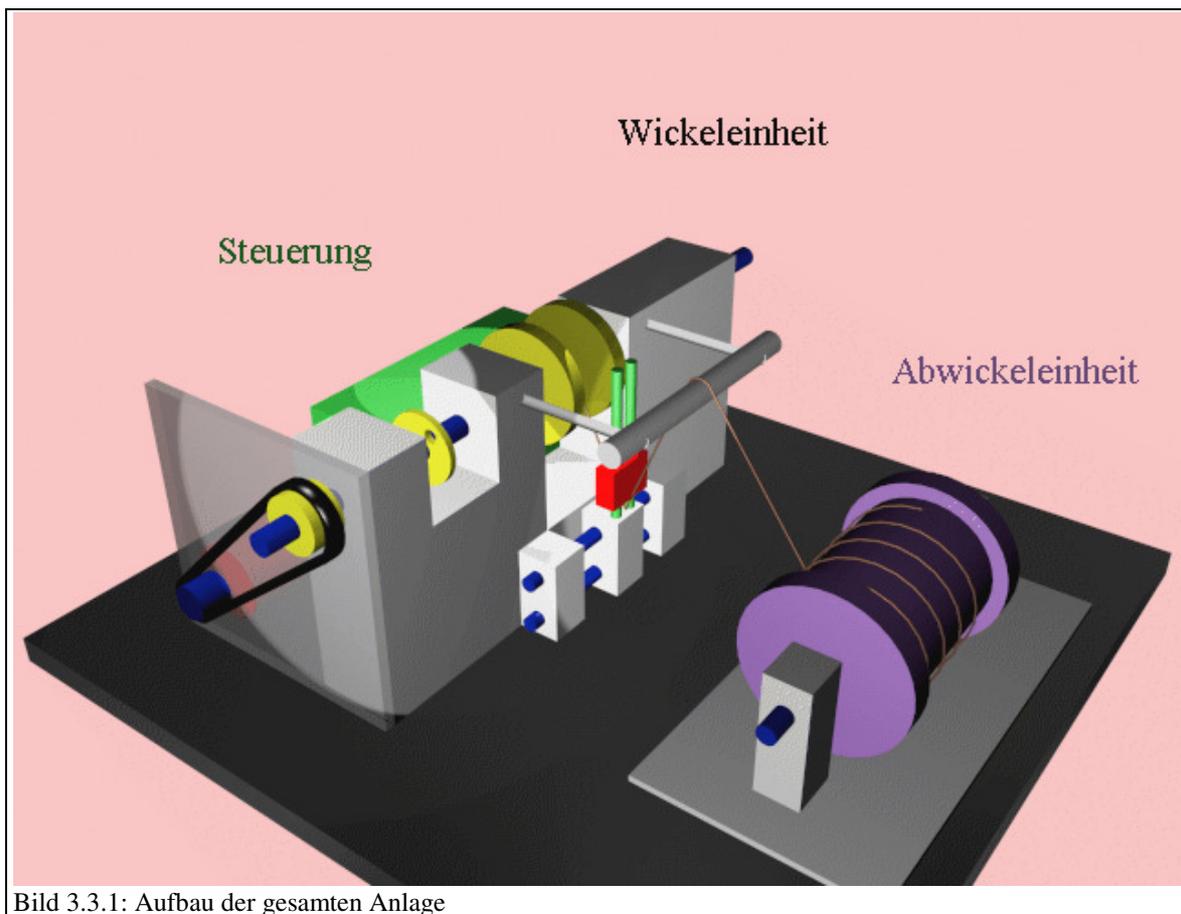
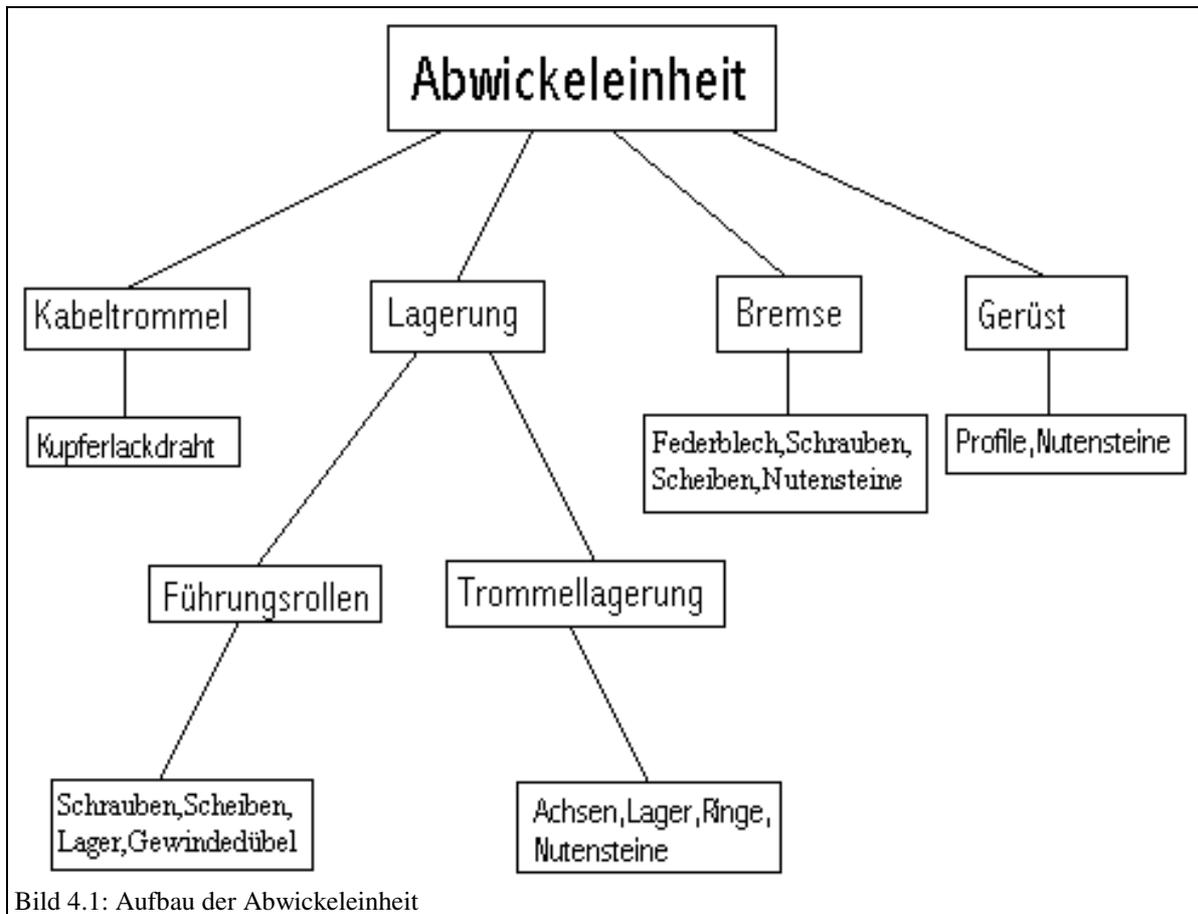


Bild 3.3.1: Aufbau der gesamten Anlage

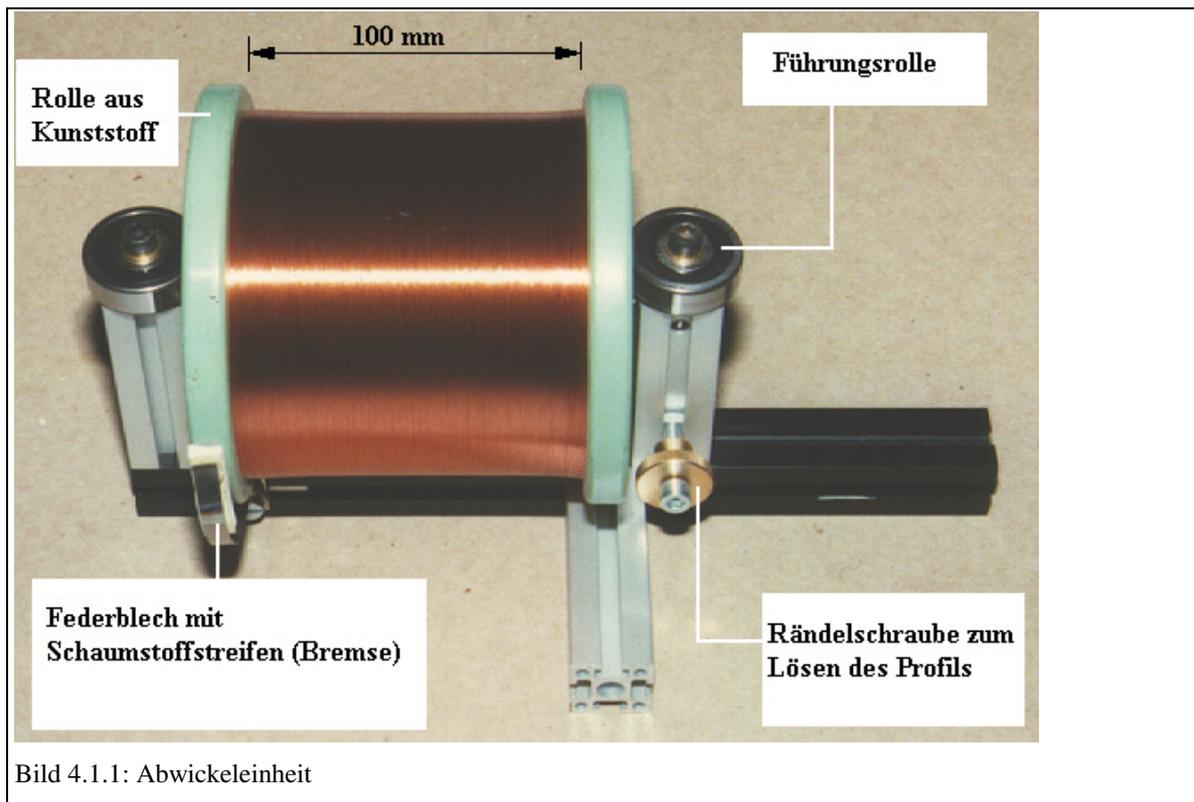
4 Die Abwickleinheit



4.1 Der Rahmen

Das Grundgerüst der Abwickleinheit besteht aus Aluminiumprofilen. Es handelt sich um vier gleich lange Stücke mit einer Länge von je 75 mm und einem längeren schwarz eloxierten Stück von 275 mm mit gleichem Profilquerschnitt.

Wie auch bei der Wickelbank selbst fiel die Wahl auch hier auf ein Baukastensystem. Allerdings wurden hier Profile einer anderen Firma verwendet. Wie in Kapitel 3.1 bereits erwähnt, sind die Aufnahmen für die Kabelrollen bei einigen Firmen oft bereits vorhanden. Sie sind daher vollkommen von der übrigen Maschine getrennt und nur über Führungsrollen sowie den Kupferlackdraht verbunden. Abgesehen davon ist die Qualität der in der Wickelbank verwendeten Profile wesentlich höher und für die Abwickleinheit nicht notwendig. Da sich diese Qualität natürlich auch im Preis niederschlägt, wurden bei dieser Konstruktion andere preisgünstigere Profile gewählt.



Damit die Kabeltrommel leicht auszuwechseln ist, ist ein Profilstück verschiebbar angebracht. Grundsätzlich lassen sich zwar alle Profilstücke verschieben. Zum Lösen benötigt man allerdings einen Inbusschlüssel für die M6 Madenschraube, die das Verbindungselement sichert. Bei dem entsprechenden Profil, welches verschiebbar sein sollte, wurde diese Schraube durch eine Rändelschraube ersetzt. Das Auswechseln der Kabeltrommel ist - wenn auch nur relativ selten erforderlich - somit ohne Werkzeug möglich.

Die übrigen Profilstücke können mit einem Inbusschlüssel demontiert werden. Die nötige Festigkeit und Steifheit des Rahmens erfüllt voll die nötigen Ansprüche. Der gesamte Rahmen sollte auf einer rutschfesten Unterlage stehen. Es besteht auch die Möglichkeit den Rahmen zu befestigen, und zwar mit Nutensteinen, die in die Profilschienen eingeschoben werden können.

Für die Entwicklung und Erprobung der Anlage war dieses System ideal, da es sehr flexibel einzusetzen war.

Da dieser Teil vollkommen losgelöst von der übrigen Anlage ist, könnten die Profile auch durch die anderer Firmen ersetzt werden, oder es kann ganz auf die Verwendung von Profilen verzichtet werden. Selbstverständlich sind dann auch andere Konstruktionen denkbar, insofern der Anschluß der notwendigen Komponenten sowie Standsicherheit und die notwendige Stabilität gewährleistet ist (es muß eine Kabelrolle von maximal 2,5 kg getragen werden).

4.2 Die Lagerung

Übliche Kabeltrommeln für Kupferlackdraht dieser Größenordnung sind für eine Achsaufnahme von einem Durchmesser von 16 mm ausgelegt. Dieser Durchmesser beginnt auf beiden Seiten der Trommel direkt hinter der Montageöffnung, die eine Tiefe von 8 mm hat. Sie endet auf beiden Seiten bei einer Tiefe von 22 mm. Nur in diesem Bereich kann die Lagerung also angreifen. Die Lagerung auf einer blanken Achse scheidet aus, da das unterschiedliche Gewicht der Trommel einen zu starken Einfluß auf den Widerstand durch die Reibung hat. Außerdem sollten die Kunststofftrommeln nicht einem unnötigem Verschleiß ausgesetzt werden. Aus diesen Gründen liegt eine Lagerung durch Kugellager nahe, die in dem oben beschriebenen Bereich angebracht werden müssen. Das geschieht in dieser Konstruktion durch Schlag- oder Stellringe, die wiederum mit einer Madenschraube gegen Verrutschen gesichert werden. Die Kunststofftrommel kann direkt auf den Kugellagern gelagert werden, wobei man aufgrund der Belastung die Lager paarweise einbauen sollte. Das gibt den Außendurchmesser für die Lager von 16 mm vor. Der Innendurchmesser ergab sich durch die verwendeten Achsen mit einem Außendurchmesser von 5 mm, die mit einem M5 Gewinde direkt in den Nutensteinen lagern. Folgende Lager wurden verwendet:

FAG Rillenkugellager 625.2RS

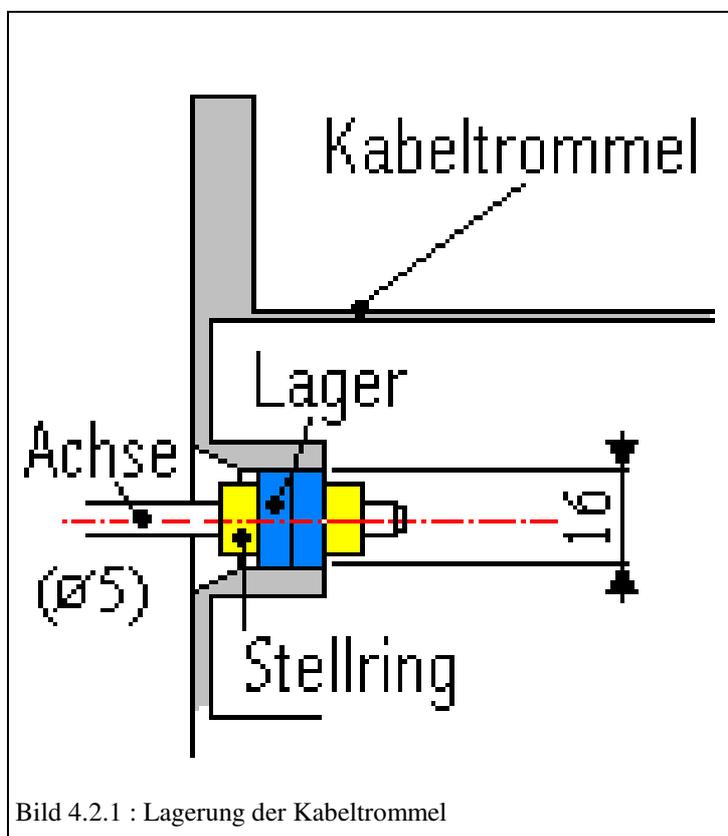


Bild 4.2.1 : Lagerung der Kabeltrommel

Wie bereits in Kapitel 4.1 angedeutet, kann die Kabeltrommel dadurch herausgenommen werden, daß eine Lagerung entfernt wird. Aus diesem Grund und weil der Durchmesser in der Kunststofftrommel nicht durchgängig 16 mm beträgt, empfiehlt sich die Verwendung von zwei Achsen.

Lagerkräfte:

Bei einer voll aufgefüllten Kabeltrommel ergibt sich eine Belastung von 2.5 kg. Jedes Lagerpaar wird deshalb mit maximal 1,25 kg nur radial belastet.

Drehzahl der Trommel:

max. Drehzahl der Antriebswelle: $n=1,33_4$ U/sec

Drahtbedarf bei 360° Drehung: $S = 2 * \Delta L + 2 * \pi * r$

mit den Zahlenwerten aus Tabelle 1, Seite 20

ergibt sich : $2 * (121 \text{ mm} - 69 \text{ mm}) + 2 * (\pi * 9 \text{ mm}) =$
160,548 mm

Drahtgeschwindigkeit: $v = 160,548 \text{ mm} * 1,33_4 \text{ U/sec} = 214,17 \text{ mm/sec}$

(hier kann die mittlere Geschwindigkeit auf Grund der Trägheit der Rolle und der Ausgleichbewegung des Spanngewicht gewählt werden)

Durchmesser der Vorratsrolle (d)

vollkommen aufgewickelt: 120 mm

vollkommen abgewickelt : 75 mm

Drehzahl der Vorrattrommel: $n = v / (d * \pi)$

min: 34 U/min

max: 54 U/min

Es sind keine größeren Stöße, Temperaturen oder Verschmutzungen zu erwarten. Die Belastung ist rein statisch.

Die Gleichung für die nominelle Lebensdauer lautet:

$$L_{10h} = (C/P)^3 \cdot 10^6 / (n \cdot 60) \quad [17]$$

Es ergibt sich mit den folgenden vorhandenen Daten

$$C = 1,32 \quad [21]$$

$$P = 0,625 \text{ kg}$$

$$n_{\text{max}} = 54 \text{ U/min}$$

$$n_{\text{min}} = 34 \text{ U/min}$$

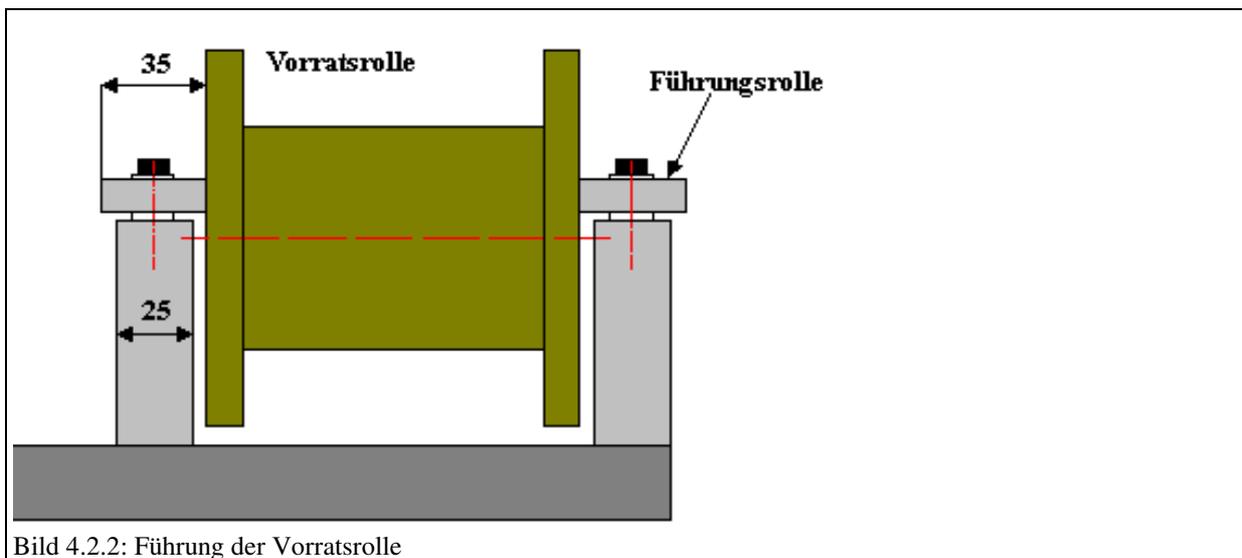
die Lebensdauer der Lager \approx :

$$\text{min.: } \underline{2907 \text{ h}}$$

$$\text{max.: } \underline{4617 \text{ h}}$$

Bei einer Wickelzeit von 2 bis 3 Stunden sollten die Lager nach ca. 1000 gewickelten Spulen dann ausgewechselt werden. Die verwendeten Lager haben einen sehr geringen Reibungswiderstand, was besonders beim Anlaufen günstig ist. Außerdem bietet sich damit die Möglichkeit, den nötigen Widerstand allein über die Bremse zu bestimmen.

Axiale Führung



Da eine Aufnahme axialer Lasten mit der Lagerung alleine nicht möglich ist, muß die Rolle seitlich geführt werden, da sonst der durch die Reibung verursachte Widerstand an den Aluminiumprofilen schnell zum Zerreißen des Drahtes führen kann.

Aus konstruktiven Gründen sind die verwendeten Lager stark überdimensioniert worden. Es gibt nur im Zentrum der Profile eine geeignete Bohrung zur Befestigung, daher mußten die Lager einen Durchmesser haben, der mindestens so groß ist, wie die Profile breit sind (siehe Bild 4.2.2).

Die Führungsrolle fährt die Außenseite der Trommel ab. Dabei berührt sie nicht nur den Kunststoff selbst, sondern auch die beschriftete Fläche. Aus diesem Grund sollten die Lageroberflächen möglichst sauber sein.

4.3 Die Bremse

Damit der Kupferlackdraht gespannt werden kann, muß er an einer Stelle einen Widerstand erfahren. Im Falle der Abwicklung auf der Abwickleinheit kann das auch die Trommel selbst sein. Das hat den Vorteil, daß keine zusätzlichen Elemente zwischen Wickelbank und Abwickleinheit gebaut werden müssen.

Die Vorrats-Kunststoffrolle wird direkt berührt. Ein Federblech drückt mit einer konstanten Kraft gegen die Außenseite der Trommel. Damit auch an dieser Stelle die Trommel nicht beschädigt wird und damit trotz geringem Andruck des Federblechs genügend Reibung entsteht, ist auf das Federblech ein Streifen Schaumstoff aufgeklebt.

Für den Fall, daß der Kupferlackdraht nicht auf der Abwickleinheit entnommen wird, gibt es auch andere Möglichkeiten den Draht abzubremsen:

1. Abbremsen durch direkte Berührung

Realisation : Papierstapel oder Gummistreifen

Vorteile:

- preisgünstige Lösung

- einfach zu realisieren

Nachteile:

- Verdrillen des Drahtes vor der Bremse bei Drahtentnahme mit feststehender Rolle

2. Abbremsen durch gebremste Rolle

Realisation: Draht wird mit 3 bis 4 Windungen um eine Rolle gelegt, die abhängig von der Oberflächenrauigkeit einen Durchmesser von 30 mm bis 100 mm haben muß. Diese Rolle wird dann mit einer Feder (eventuell einstellbar) wieder abgebremst. In einigen Versuchen wurde dazu eine leere Kabeltrommel mit der vorhandenen Abwickleinheit verwendet.

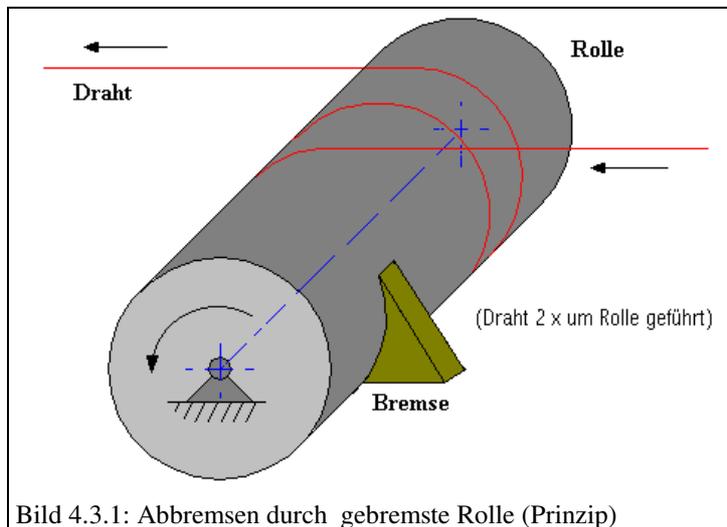


Bild 4.3.1: Abbremsen durch gebremste Rolle (Prinzip)

Bei dieser Art den Kupferdraht vorzuspannen, muß der Draht auch vor der Bremse ein wenig gespannt sein. Auf die direkte Berührung kann deshalb auch hier nicht verzichtet werden.

Vorteile:

- genaue Einstellbarkeit

Nachteile:

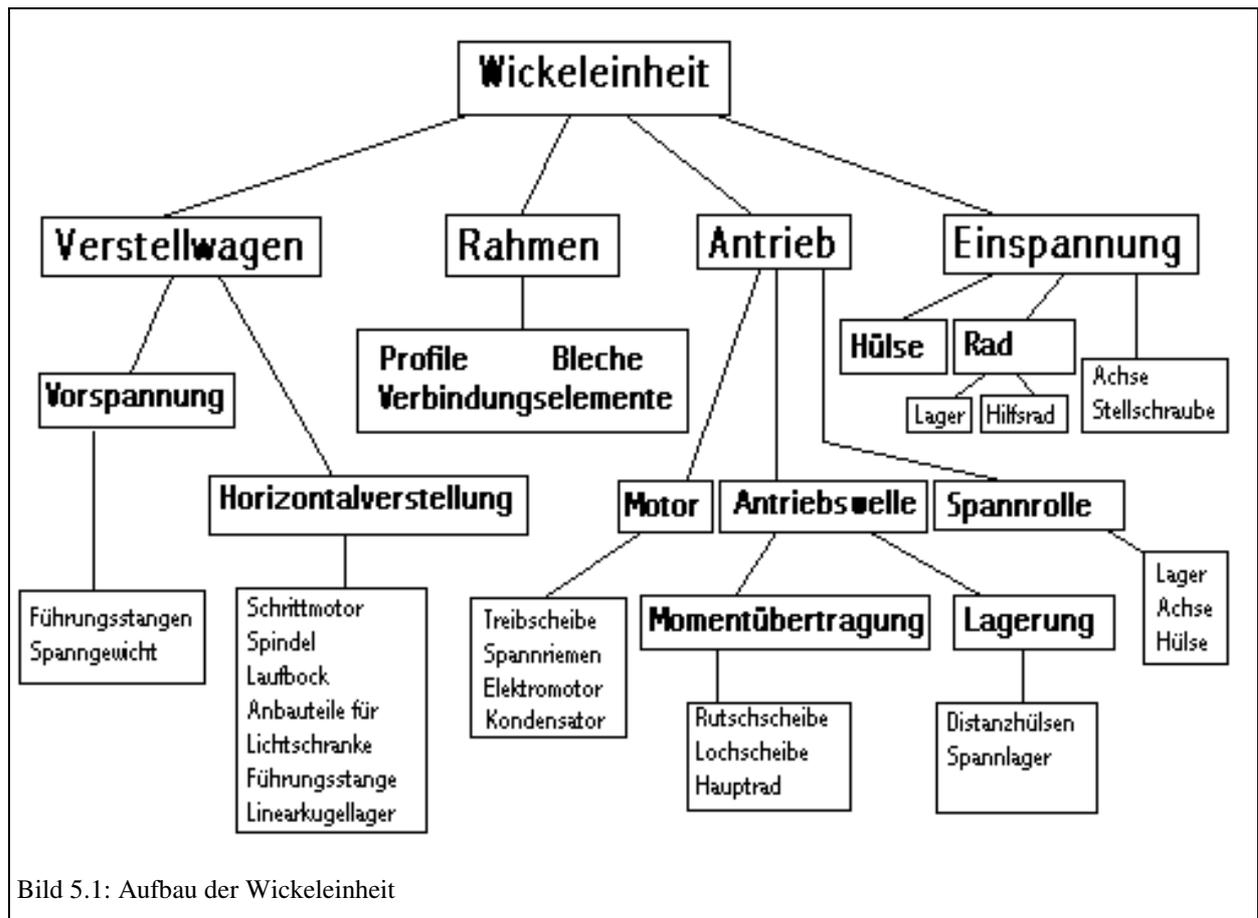
- aufwendige Realisation
- zusätzliche Trägheit der Bremsrolle

Alle Möglichkeiten zum Abbremsen wurden getestet. Es hängt nun von

- Drahtdurchmesser
- Form der Vorratrolle
- Art der Abwicklung

ab, für welche Bremse man sich entscheidet. Grundsätzlich funktionieren aber alle Techniken.

5 Die Wickeleinheit



Die Wickeleinheit ist der Hauptteil der Anlage. Sie ist mit der Steuerung eng verbunden. Die angeschlossenen Motoren werden von der Elektronik angesteuert. Außerdem kann das Steuergehäuse direkt mit der Wickeleinheit verschraubt werden. Die Verbindung zur Abwickleinheit besteht nur durch den Kupferdraht, der über eine Rolle der Wickeleinheit zugeführt wird.

Die gesamte Wickelbank ist mit einem Aluminiumgestell verbunden. An diesem Gestell sind alle Komponenten angeschlossen. Dieser Teil der Anlage sollte auf einer geraden und festen Unterlage stehen, da sonst die einwandfreie Funktion nicht mehr gewährleistet werden kann. Eine Ausrichtung mit der Wasserwaage ist zu empfehlen. Gute Erfahrungen, besonders im Hinblick auf den Transport wurden mit einem 18 mm Holzbrett (Multiplex) gemacht. Das Gewicht läßt ein Tragen über kurze Strecken zu und garantiert bei festem Untergrund einen sicheren Stand.

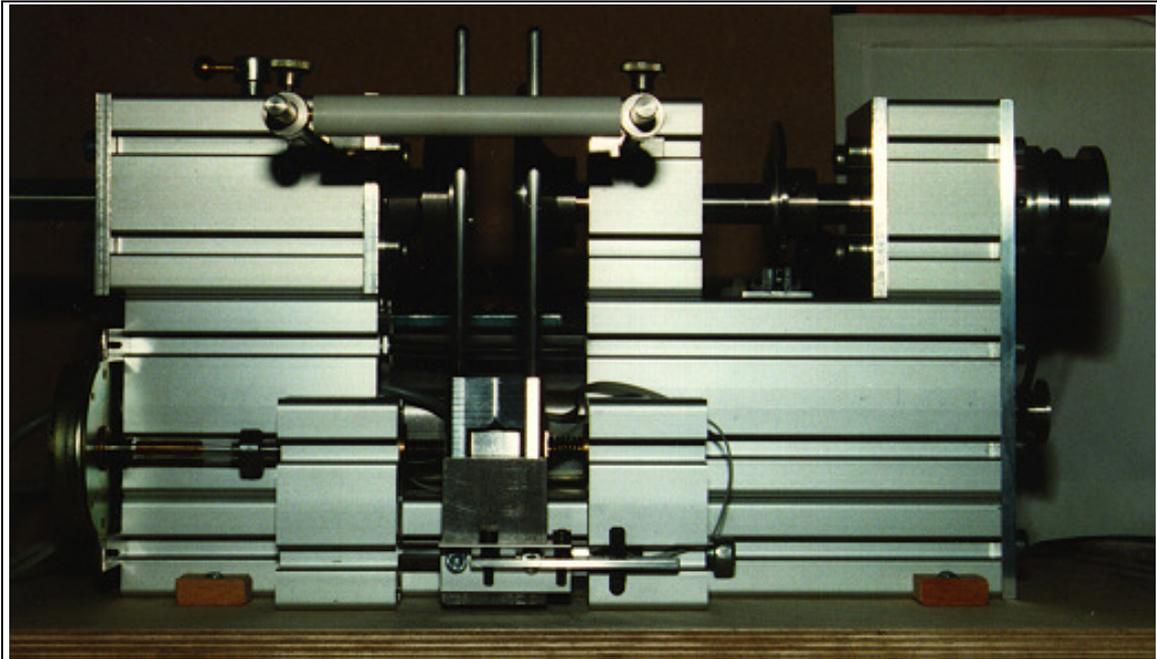


Bild 5.2 : Die Wickeleinheit

Abmaße der Wickelbank:

Gewicht (ohne Steuereinheit)	18,5	kg
Länge über alles	465	mm
Breite über alles (ohne Steuereinheit)	310	mm
Standfläche	215 x 370	mm

5.1 Der Verstellwagen

Der Verstellwagen hat grundsätzlich zwei Aufgaben:

- Drahtführung in axialer Richtung
- Lagerung der Stangen zur Führung des Spanngewichts

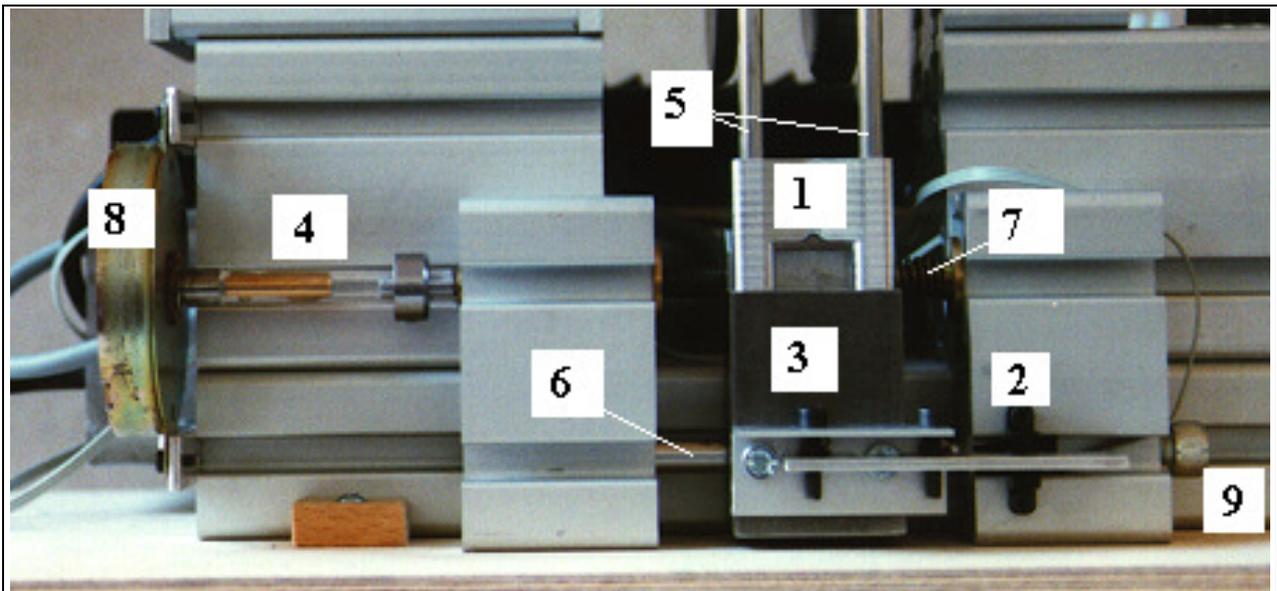


Bild 5.1.1: Der Verstellwagen im Überblick

1.Spanngewicht, 2.Lichtschanke, 3.Gleitbock, 4.Kupplung, 5.Gleitstangen, 6.Führungsstange, 7.Andruckfeder, 8.Schrittmotor

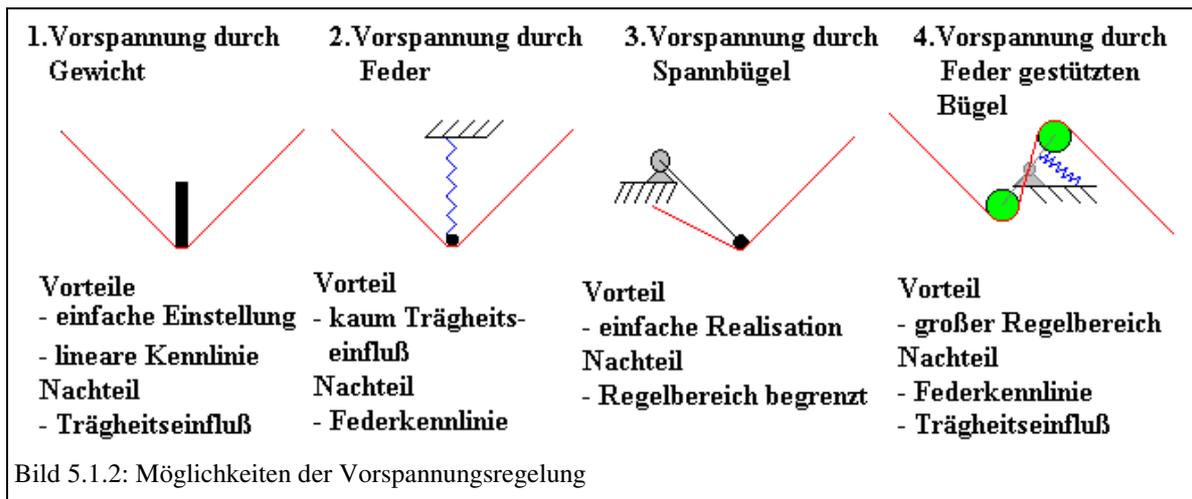
Die Spulen würden sich nicht regelmäßig aufwickeln, wenn der Kupferlackdraht nicht geführt werden würde. An den Verstellwagen angeschlossen sind die Gleitstangen, die das Spanngewicht lagern, die Spindel, die den Wagen antreibt und eine Stange, die den Laufbock in seiner Lage fixiert. Die Spindel wird über eine spezielle Kupplung mit einem Schrittmotor angetrieben. Außerdem ist ein Winkel angeschlossen, der die Verbindung zu einer Lichtschranke herstellt. Mit dieser Lichtschranke wird die Bewegungsrichtung geregelt. Sie gibt ihre Signale weiter an die Steuereinheit.

5.1.1 Die Vorspannungsregelung

Betrachtet man den Wickelvorgang, wenn er von Hand gesteuert wird, so fällt auf, daß die Hand ständig die Drahtspannung regelt. Wird wahrgenommen, daß die Drahtspannung steigt und droht der Draht zu reißen, wird direkt versucht diese Spannung etwas auszugleichen in-

dem der Druck auf den Draht verringert wird, oder die Drahtumlenkung etwas ausgeglichen wird. Die mechanische Lösung kann ähnlich realisiert werden, allerdings muß natürlich die Information über die Drahtspannung anders verarbeitet werden.

Nach den Erkenntnissen aus den Vorversuchen stehen die in Bild 5.1.2 dargestellten Möglichkeiten zur Verfügung. Dabei stammt Möglichkeit 4 nicht aus Vorversuchen und ist auch nicht getestet worden allerdings ist diese Regelung in Firmen, die Spulen herstellen weit verbreitet.



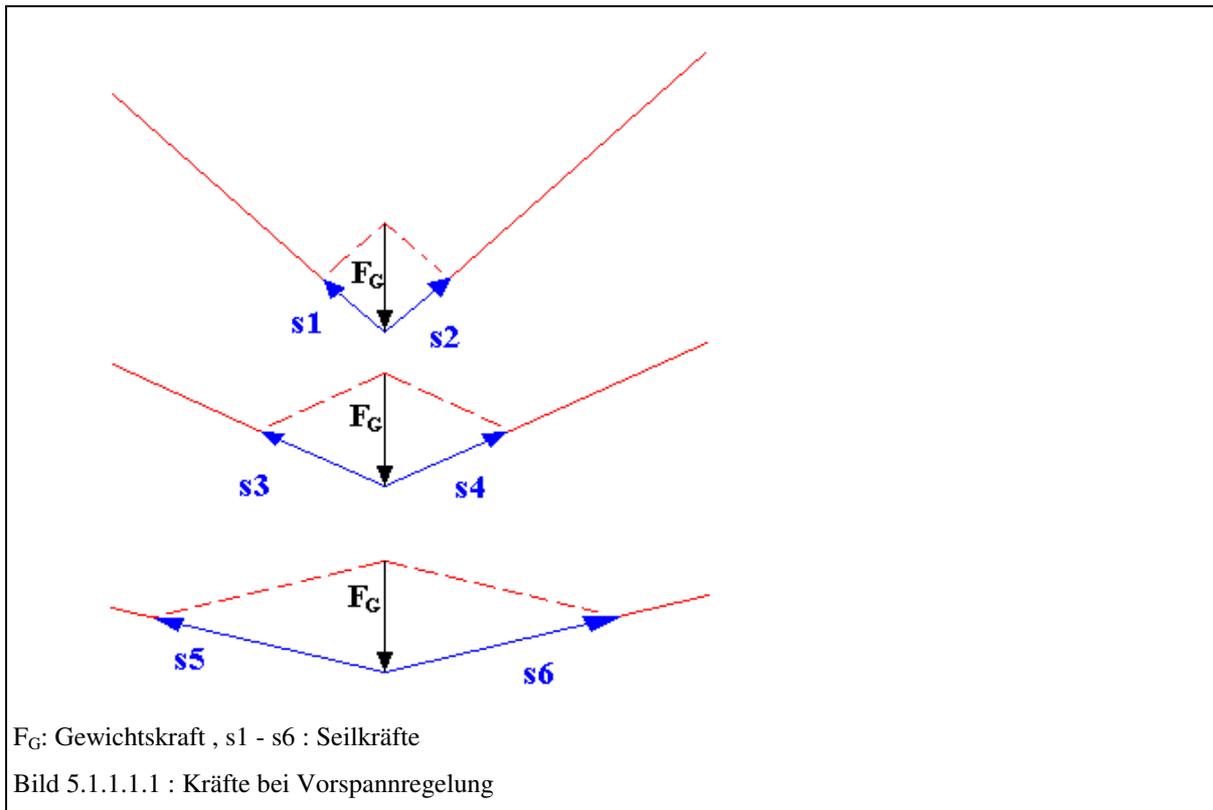
Da bei den relativ geringen Drehzahlen der Trägheitseinfluß nicht besonders groß ist (in Vorversuchen führte diese Art der Regelung nie zum Reißen des Drahtes) wurde die Möglichkeit 1 realisiert. Die Vorteile überwiegen hier für den vorgesehenen Einsatzfall.

Besonders bei der Erprobungsphase bewährte sich diese Art der Vorspannung, da sich ein Reißen des Drahtes schon vorher durch das Heben des Gewichtes ankündigte. Für Einstellungen an Bremsen war somit Zeit und das garantierte eine optimale Einstellung.

Auch das Anlaufverhalten ist sehr viel besser. Bei großen zu beschleunigenden Massen, wie z.B. dem Antrieb der Vorrattstrommel, reißt der Draht auf diese Weise sehr selten, was beim einfachen Bremsen ohne Regelungsmaßnahmen schnell passiert.

Der Grund liegt dabei in der Haftreibung, die höher ist als die Gleitreibung. Beim Anfahren muß zuerst die Haftreibung überwunden werden. Ist sie zu groß, reißt der Draht. Das Einstellen auf einen niedrigeren Wert würde das Problem zunächst lösen, allerdings vermindert sich dann auch die Festigkeit der Wicklung, da die Reibkraft beim Gleiten ebenfalls verringert wird.

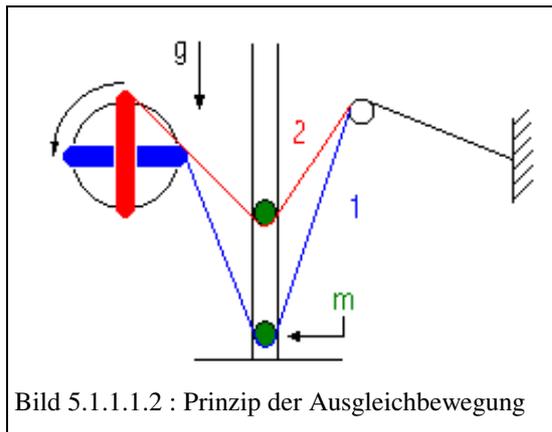
5.1.1.1 Das Modell



Im Prinzip sollen die Spannungsschwankungen im Draht durch das aufliegende Gewicht ausgeglichen werden. Natürlich kann nur eine mehr oder weniger starke Spannung ausgeglichen werden, daß heißt es muß also schon ein Widerstand von einer Bremse vorhanden sein. Das Gewicht hebt sich, wenn der Draht schneller gefördert wird und senkt sich, wenn sich die Drahtgeschwindigkeit verkleinert. Dieser Vorgang läuft aber keineswegs periodisch ab. Das liegt an der Trägheit der Rolle, die abgewickelt wird und an dem Unterschied zwischen Haft- und Gleitreibung in den Lagerungen der Abwickel­einheit.

Der **Regelbereich** des Gewichts wird begrenzt durch :

- die Kraft im Draht, die so groß ist, daß sie die Vorratsrolle antreibt.
Das Gewicht gelangt bis zur höchsten Position. Die Vorratsrolle wird beschleunigt.
- Die Kraft im Draht, die grade reicht, um den Draht gespannt zu halten.
Das Gewicht gelangt bis zur untersten Position. Die Vorratsrolle wird abgebremst.



Wie in Kapitel 2.2 bereits beschrieben, ist das spezielle Problem bei dem Wickelvorgang der Sprung, der sich bei 180° in der Drahtbeschleunigung ergibt. In der gleichen Zeit wird einmal mehr, einmal weniger Draht verlangt. Dieser Draht muß aber irgendwo zwischengespeichert werden. Das geschieht beim Senken des Gewichts, wobei sich eine Schlaufe (Bild 5.1.1.1.2

blauer Draht) bildet. Das Gewicht hebt sich, wenn mehr Draht aufgewickelt wird oder wenn die Spannung im Draht steigt.

Diese Betrachtungsweise ist natürlich rein theoretisch und bedarf in der Realität einiger Korrekturen. Reibungseinflüsse und die Trägheit des Gewichts müssen noch berücksichtigt werden.

5.1.1.2 Die Umsetzbarkeit

Die ganze Einrichtung der Vorspannungsregelung ist auf dem Laufbock montiert, der zum Verfahren in axialer Richtung dient. Deshalb muß das Gewicht so geführt werden, daß die Lage des Drahtes in axialer Richtung nur durch die gewollte Zustellung verändert wird. Das heißt, daß das Gewicht am besten in zwei Punkten gelagert oder geführt werden muß. Soll das Gewicht gleichzeitig auch noch genau geführt werden, so ergeben sich zwangsläufig fertigungstechnische Probleme. Es ist mit herkömmlichen Mitteln kaum möglich, zwei Löcher so parallel zueinander zu bohren, daß Stangen dieser Länge dann ein Teil mit zwei ebenfalls so genau gefertigten H7 Bohrungen aufnehmen und dabei noch lockereres Gleiten zulassen. Es ist klar, daß nur eine der Bohrungen die genaue Führung übernehmen kann, während die andere Bohrung etwas mehr Luft haben sollte. Bei der Auslegung des Gewichts war die Länge der Gleitlöcher ein wichtiges Maß, da sonst ein Verkannten des Teils auftreten kann. Die Länge der Bohrungen wurden in den Vorversuchen (siehe auch Kapitel 3.2) bereits ermittelt. Danach sollte die Länge mindestens 3 mal so lang sein wie der Bohrungsdurchmesser.

In der Mitte des Gewichts wurde zur Führung des Drahtes ein Radius eingearbeitet. Die Gleitflächen, die den lackierten Draht berühren, dürfen den Draht nicht beschädigen, da sonst

Kurzschlüsse in der Spule zu befürchten sind. Grundsätzlich ist die Reibung auf der dünnen Lackschicht kritisch. Sie ist etwa nur $5 \cdot 10^{-3}$ mm dick. Deshalb wurde die Fläche, die den Draht berührt, abgerundet und poliert. Die spätere Untersuchungen der mit diesem Gewicht hergestellten Spulen ergab keinerlei Anzeichen auf Kurzschlüsse. Da auch schon in Vorversuchen keinerlei Probleme dieser Art auftraten, wurde in dieser Konstruktion auf eine Rolle, die den Draht nahezu reibungsfrei umlenken könnte, verzichtet.

Verwendung von Schmiermittel

Damit das Gewicht nicht klemmt, mußten die Stangen ebenfalls poliert werden. Anschließend wurden sie mit Graphit eingeschmiert. Öl kann an dieser Stelle nicht eingesetzt werden, da der enge Zwischenraum zwischen Führungsstange und Bohrungsoberfläche mit dem Öl verschmiert. Dies erhöht die Reibung selbst mit Spezialöl erheblich und das Gewicht kann nicht mehr schnell genug die Spannung im Draht ausgleichen. Außerdem bleiben an ölbenetzten Flächen schnell Staubteilchen hängen, die dann die Reibung ebenfalls vergrößern können. Graphit als Gleit- und Schmiermittel ist an dieser Stelle besser geeignet.

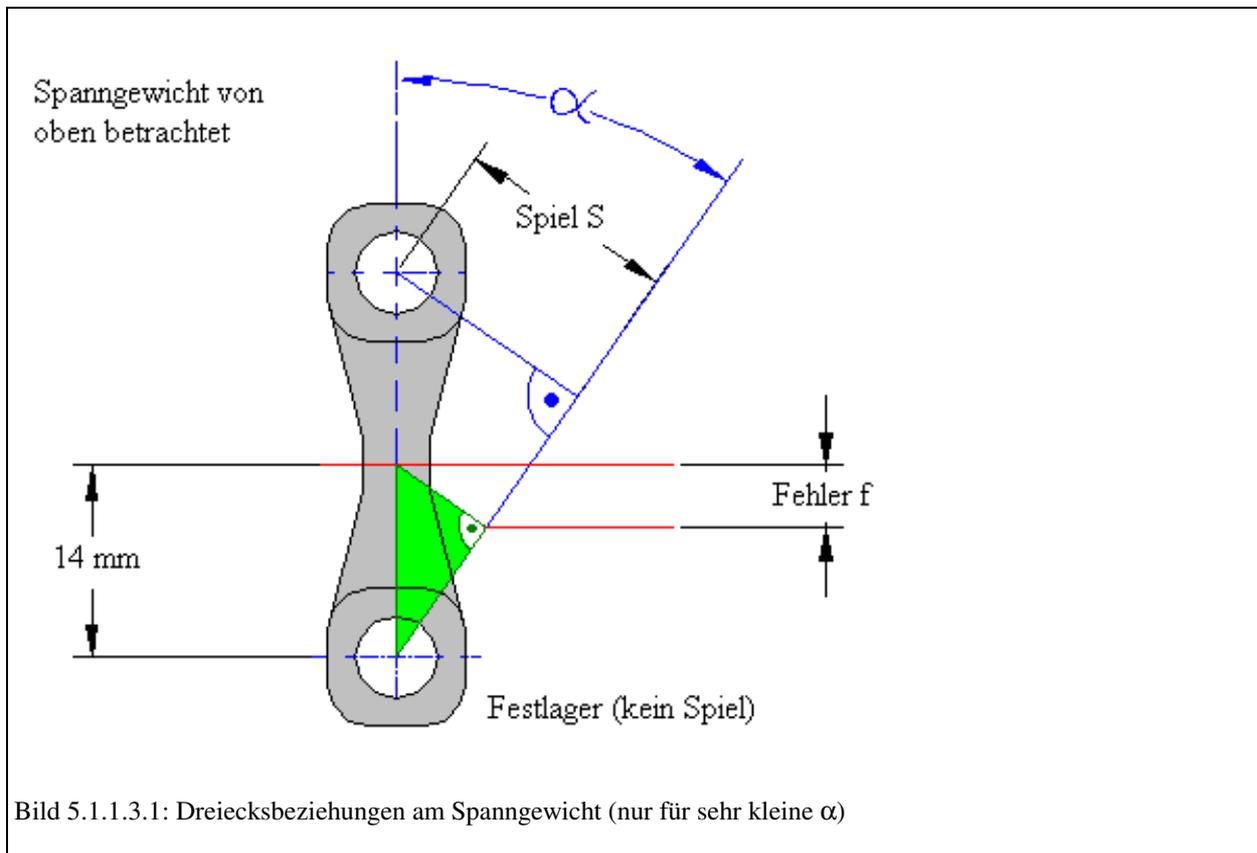
Das Spannungsgewicht ist auf **20 g** ausgelegt worden. Durch zusätzliche Scheiben, die über dem Gewicht in die Stangen eingehängt werden, läßt sich das Gewicht noch erhöhen. Dies kann vor allem bei größeren Drahtdurchmessern sinnvoll sein. Die zulässigen Drehzahlen lassen sich auf Grund der Reibungseinflüsse theoretisch nicht ermitteln. Die optimale Wickelgeschwindigkeit liegt aber etwa bei 1U/sec also 60 U/min wie auch schon in den Vorversuchen ermittelt wurde.

5.1.1.3 Die Anpassung der Bohrungen an die Gleitstangen

Da es praktisch nicht möglich ist, das Gewicht an zwei Punkten gleichermaßen zu führen, muß auch hier das Prinzip von Fest- und Loslager eingehalten werden. Ein leichtes Drehen des Gewichtes um eine Achse ist hinzunehmen, wenn der Fehler in axialer Richtung wie hier weit unter der Toleranz ist (0,06 mm Drahtaußendurchmesser des kleinsten Drahtes).

In Bild 5.1.1.3.1 sind die geometrischen Beziehungen am Spannungsgewicht sichtbar.

Das Spiel S bewirkt, daß sich das Gewicht um das „Festlager“ mit dem Winkel α dreht.



$$\alpha = \arcsin \left(\frac{S}{2 \cdot 14 \text{ mm}} \right)$$

Der Fehler f ergibt sich daher zu:

$$f = 14 \text{ mm} - (\cos \alpha \cdot 14 \text{ mm})$$

Diese Berechnung gilt nur für kleine Winkel.

Selbst ein Spiel von 1 mm würde noch nicht einmal einen Fehler von einem hundertstel Millimeter ausmachen:

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{1}{28} \right) \approx 2,046^\circ$$

$$f = 14 \text{ mm} - (\cos \alpha \cdot 14 \text{ mm}) \approx 0,0089 \text{ mm}$$

Es wäre deshalb möglich eine Bohrung gerade auf die Größe aufzubohren, daß das Gewicht locker gleitet.

In diesem Fall wurde eine der Bohrungen mit Schleifpapier (1000'er Körnung) gerade soweit vergrößert, bis sich das Gewicht locker auf den Stangen bewegen konnte. Bei der Förderung des Drahtes wird die Bohrungsoberfläche gegen die Führungsstange gedrückt. Ein Fehler tritt deshalb ohnehin nur bei Stößen zum Beispiel durch Berühren des Laufbocks (Zeich.Nr. 3) auf.

Die Toleranzen schwanken nach Herstellerangaben abhängig von den Abmessungen von $\pm 0,2$ mm bis 0,4 mm. Die Formabweichungen wie Geradheits - und Ebenheitstoleranzen sind nach DIN 17615 Teil 3.

Die optisch ansprechenden Oberflächen sind matt gebeizt (E6) , anodisiert und verdichtet. Die Mindestschichtdicke beträgt dabei $10\mu\text{m}$ mit einer Schichthärte von 250-350 HV.

5.1.2 Die Montage des Grundrahmens

Der gesamte Rahmen baut auf einer Hauptschiene auf. Deshalb sollte auch bei der Montage mit der Hauptschiene begonnen werden. Dabei sollten alle anzuschließenden Elemente fertig bearbeitet sein. Das umfaßt

- alle Gewindelöcher, die geschnitten werden müssen
- eine Bohrung zum späteren Montieren der Lichtschanke
- eine Bohrung vom Durchmesser 10 mm in dem langen Lagerprofil.



Bild 5.1.2.1: Endmontage des großen Lagerprofils

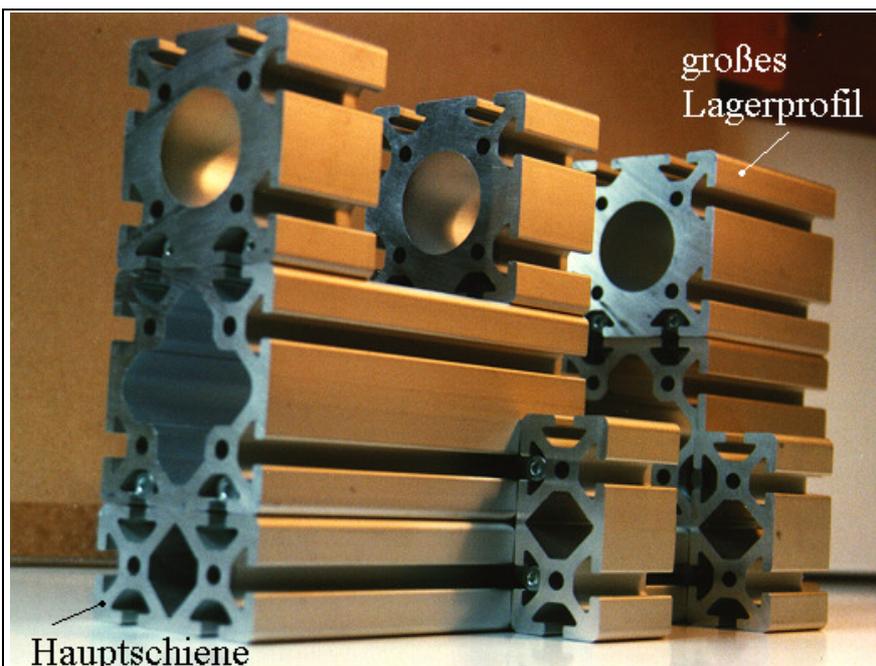


Bild 5.1.2.2: Der gesamte Grundrahmen ausgenommen der Aluminiumplatten

Nach dem Zusammensetzen der Parallelverbinder dürfen die Profile noch nicht fest verschraubt werden, sondern nur soweit, daß das ganze Gebilde aus Aluminiumprofilen eine Einheit bildet. Nur die kleinere der beiden Distanzschiene und das große Stück Lagerprofil können schon fest verschraubt werden. Eine Aluminiumplatte (Deckel, Zeichnungsnummer 17) sollte bündig mit einem Distanzstück abschließen, so daß das Lagerprofil ein wenig nach außen überragt. Sonst sollte jedoch keines der Profilstücke als endgültig montiert betrachtet werden, da die Montage der Antriebswelle, eventuell das Verschieben der übrigen Lagerböcke notwendig macht oder zumindest bei der Montage hilfreich sein kann. Die große Montageplatte kann ebenfalls erst bei der Montage der Antriebswelle angebracht werden. Die Montageplatte (Zeichnungsnummer 16) bestimmt letztendlich auch die Lage der stirnseitig angeschlossenen Profile. Beim übrigen Zusammenbau muß man auf die genaue Ausrichtung der Teile achten, da Ungenauigkeiten später nur schwer zu korrigieren sind.

Die Teile des Grundrahmens, an die die Verstelleinheit angeschlossen wird, sind erst mit der Montage der Verstelleinheit notwendig und sollten dann auch erst montiert werden.

5.2.2 Belastbarkeit und Schraubenanzugsmomente

Die verwendeten Profile (Item, Baureihe 8 [24]) sind auch für größere Belastungen ausgelegt. Aus diesem Grund sind bezüglich des Rahmens kaum Probleme zu erwarten.

Die folgenden mechanischen Werte gelten nur in Preßrichtung [24]:

Zugfestigkeit R _m	mindestens	250	N/mm ²
0,2-Grenze R _p 0,2	mindestens	200	N/mm ²
Dichte		2,7	kg/dm ³
Bruchdehnung A ₅	mindestens	10	%
Bruchdehnung A ₁₀	mindestens	8	%
Lin.Ausdehnungskoeff.		23,6x10 ⁻⁶	1/K
Elastizitätsmodul E	ca.	70.000	N/mm ²
Schubmodul G		2500	N/mm ²
Härte	ca.	75 HB 2,5/187,5	

Zur parallelen, kraftschlüssigen Verbindung der Profile der Baureihe 8 diente der Direkt-Verbindungssatz (Best.Nr.0.0388.63 von Item). Der Verbindungssatz ist geeignet, die Profile

der Kugelhülsenführung verschiebbar und ohne Bearbeitung mit anderen Profilen zu verbinden.

Wenn eloxierte Flächen aufeinander montiert werden, wird empfohlen zu fetten, da bei eventuell auftretenden Mikrobewegungen durch Reiben der Eloxpartikel Geräusche entstehen können.

Technische Daten der Verbindungssätze[24]:

Material:	G-St, korrosionsbeständig
mit Senkschraube DIN 7991 - M6 x 20 verzinkt	
Zylinderschraube DIN 7991 - M6 x 14, verzinkt	
Distanzhülse POM, schwarz und Nutenstein St M6 verzinkt	
Empfohlenes Anzugsmoment pro Verbindung :	5,5 Nm
Gewicht :	37 g

5.2.3 Vor- und Nachteile von Baukastensystemen

Für die Entwicklung und Konstruktion eines Prototypen ist es sinnvoll, sich in der Konstruktion am Reißbrett oder am CAD - System nicht schon in jedem Detail festzulegen. Bestimmte Elemente, wie zum Beispiel die Impulsgeber der Steuerelektronik, aber auch Teile, die zur Handhabung des Gerätes wichtig sind, können oft am besten vor Ort eingestellt, montiert oder ausgerichtet werden.

Außerdem sind später Änderungen und Umbauten leicht möglich, was grade bei einem Prototypen wichtig ist. Aus diesem Grund war hier die Verwendung eines Baukastensystems sinnvoll. Die Vorteile überwiegen hier eindeutig:

- geringe Planungszeiten durch Standardelemente
- deutlich reduzierter Konstruktionsaufwand
- minimale Arbeitsvorbereitung
- ideal für den CAD-Einsatz
- geringer Bearbeitungsaufwand
- geringe Maschineninvestitionen
- deutlich reduzierte Montagezeiten

- schnelle Projektabwicklung durch Abruf fertiger MB-Elemente ab Lager
- nachträgliche Konstruktionsänderungen sind problemlos möglich
- alle MB Elemente sind wiederverwendbar [24]

Hinzu kam noch, daß die Item Elemente auch vom Design ansprechend aussehen. Schließlich wurden die Elemente des Item Systems in den letzten Jahren bereits mehrfach bei verschiedenen internationalen Designwettbewerben ausgezeichnet, so z.B. mit der iF-Plakette des Industrie Forum Design Hannover und durch das Design - Zentrum Nordrhein-Westfalen in Essen [24].

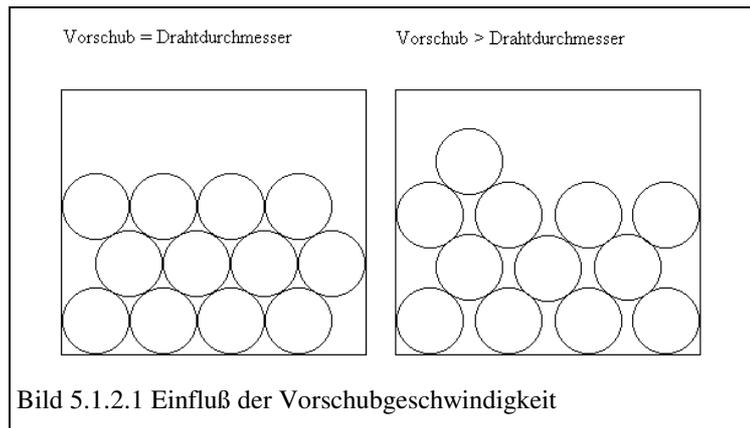
Allerdings hat ein solches Baukastensystem auch eindeutige Nachteile :

- Wenn die Herstellung eine große Stückzahl umfaßt, sind Aluminiumprofile im Vergleich mit einer Schweiß- oder Gußkonstruktion sehr teuer (Dabei sind die Verbindungselemente noch der teuerste Teil) .
- Die Genauigkeiten sind vorgegeben und müssen daher schon von vornherein in die Konstruktion passen.
- Abhängigkeit von den Liefermöglichkeiten der Firma
- im Hinblick auf einen langen Zeitraum Abhängigkeit von der Produktpalette.

5.1.2 Die Horizontalverstellung

Damit sich Spulen mit vielen Wicklungen sauber aufwickeln, genügt es nicht, die Spannung konstant zu halten. Ohne Regelung der Zustellung des Drahtes bilden sich Drahtanhäufungen, die auch teilweise seitlich abrutschen und sich auf diese Weise lockern. Die Folgen sind wieder Mikrofonie und diverse Klangveränderungen, die natürlich auch nicht reproduzierbar sind.

Es ist also zwingend notwendig, den Draht auch seitlich zu führen. Die Spule sollte sich aus vielen übereinanderlegenden Lagen zusammensetzen. Auf diese Weise wird die Spule schon von ihrer Struktur her fest und es ist gewährleistet, Spulen



mit bestimmten Wicklungszahlen auch genau so wieder herzustellen. Wie dicht die Kupferlackdrähte aneinander liegen, ist mit entscheidend für den Klang des Tonabnehmers. Die Dichte läßt sich mit dem Vorschub verändern (siehe Bild 5.1.2.1), das heißt, daß auch die Vorschubgeschwindigkeit in ihrer Größe einstellbar sein muß.

Lösung bei bereits existierenden Wickelmaschinen

Bei vielen Wickelmaschinen werden diese Drahtzustellungen mit einer Spindel ausgeführt, die eine Zuführungsrolle bewegt. Die Endpositionen können über ein Programm eingegeben werden. Wickelgeschwindigkeit und Vorschubgeschwindigkeit werden bei Eingabe des Drahtdurchmessers automatisch ausgerechnet und eingestellt. Einige Maschinen können sogar so wickeln, daß die letzte Lage immer eine volle Lage wird. Diese Art der Wicklung ist allerdings nur bei solchen Spulen interessant, deren Oberfläche sichtbar ist und die einen Drahtdurchmesser von mindestens 1 mm haben. Da bei Tonabnehmerspulen diese Dinge uninteressant sind, wurde auch in der Konstruktion der Wickelmaschine kein Wert auf solche Einstellmöglichkeiten gelegt. Die Endpositionen sind fast immer gleich und können im Bedarfsfall auch mechanisch eingestellt werden.

Einfluß des Untergrundes auf die Wicklung:

Man darf nicht außer acht lassen, daß die Lagen auch von ihrem Untergrund abhängen, also vom Spulenkörper. Bei manuell gefertigten Spulenkörpern oder bei älteren Spulenkörpern, deren schlechte oder defekte Wicklung entfernt wurde, sind die Auflageflächen oft rau und uneben. Die Magnete, die den Untergrund für die Drähte bilden, sind oft auch nicht vollkommen gerade. Die feinen Kupferlackdrähte passen sich aber der Oberfläche genau an und mit jeder zusätzlichen Lage, die „fehlerhaft“ ist, formt sich die endgültige Oberfläche der letzten Lage. Außerdem stimmt die Höhe einiger Spulenkörper nicht an jeder Stelle. Damit ist die Einstellung der Grenzen auf einen genauen Wert nicht immer möglich. Eine Positionierung der Grenzen, mit einer Genauigkeit von

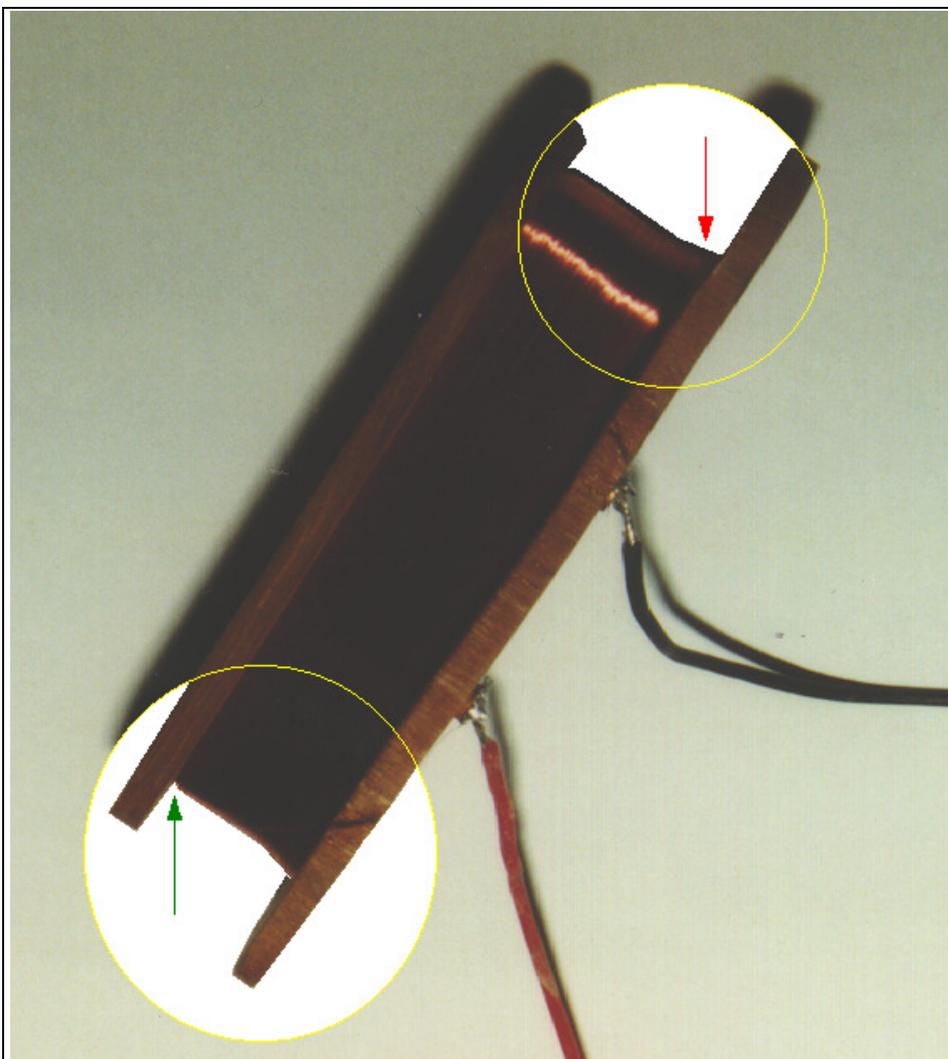


Bild 5.1.2.2: Spule, die mit leicht fehlerhaft eingestellten Grenzen gewickelt wurde

grüner Pfeil: Absenkung der Oberfläche durch fehlenden Draht

roter Pfeil : Drahtanhäufung durch Überlaufen der Grenzen beim Wickeln

$$p = 3 * \varnothing d_{\text{Draht}}$$

reicht aus. Es bilden sich dann keine Drahtanhäufungen, die so groß sind, daß sie sich lockern (Niveauunterschied etwa 0,7 mm) und es wurde auch kein hörbarer Unterschied festgestellt.

Wenn die Wicklungen nicht bis zum äußersten Punkt geführt werden konnten, legen sich die Wicklungen der darauffolgenden Lagen in die entstandenen Lücken. Die Wicklung ist an dieser Stelle nicht so dicht, wie auf der übrigen Spule. Die Spulenoberfläche senkt sich eventuell an dieser Stelle etwas ab. Wird der Vorschub über die Spulengrenzen hinausgeführt, so häuft sich der Draht am Ende der Spule an. Die Teller, auf denen die Deckel der Spulen aufliegen, verhindern, daß der Draht vom Spulenkörper abrutscht. In Bild 5.1.2.2 kann man eine Anhäufung am oberen und unteren Rand erkennen.

Ein Überlaufen des Drahtes ist aber leicht sichtbar. Der Draht zwischen Spannführung und Spule muß gerade verlaufen und darf nicht sichtbar von einem Teller abgelenkt werden. Ein Überfahren der Grenzen kann auch ohne Qualitätseinbußen noch während des Wickelvorgangs korrigiert werden.

Entscheidend für die Qualität der Spule ist die Gleichmäßigkeit der Wicklung. Durch eine homogene Struktur erhält man eine feste Wicklung, also auch keine „losen“ Drähte im Inneren, die den eigentlichen Tonabnehmer zu einem Mikrofon umfunktionieren. Deshalb ist auch der gleichmäßige Vorschub der wesentlichste Faktor.

5.1.2.1 Modell

Das Spanngewicht regelt nicht nur die Vorspannung, sondern führt den Draht auch in horizontaler Richtung. Über die Gleitstangen ist es direkt mit der horizontalen Verstellung verbunden. Die horizontale Bewegung muß gleichmäßig und relativ langsam erfolgen. Diese Bewegung soll eine Leitspindel übernehmen, die von einem Schrittmotor angetrieben wird. Die Führung übernehmen zwei Lager und eine Führungsstange.

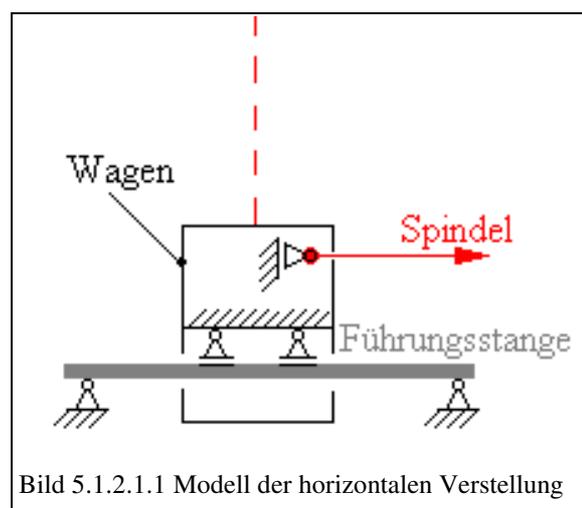


Bild 5.1.2.1.1 Modell der horizontalen Verstellung

5.1.2.2 Die Konstruktion der horizontalen Verstellung

Führung des Wagens

Bei der Führung des Wagens können vor allem dann Probleme auftreten, wenn die Führungslager haften. Deshalb sollte mindestens ein Lager ein Linearkugellager sein. Durch den Antrieb des Schrittmotors gibt es keine gleichmäßige lineare Bewegung. In Abständen von wenigen hundertstel Millimetern stoppt der Wagen und fährt wieder an. Der relativ große Unterschied von Haftreibung und Gleitreibung muß jedesmal überwunden werden. Ein herkömmliches Gleitlager neigt daher zum „rucken“, vor allem bei der Neigung durch das Passungsspiel, bei der die Kanten des Lagers auf die Stangenoberfläche drücken. In Extremfällen kann es sogar zum Klemmen der gesamten Verstellung kommen.

Bei der Paarung mit einem Linearkugellager ist dieser Effekt nicht mehr bemerkbar. Die Führungsstange selbst kann

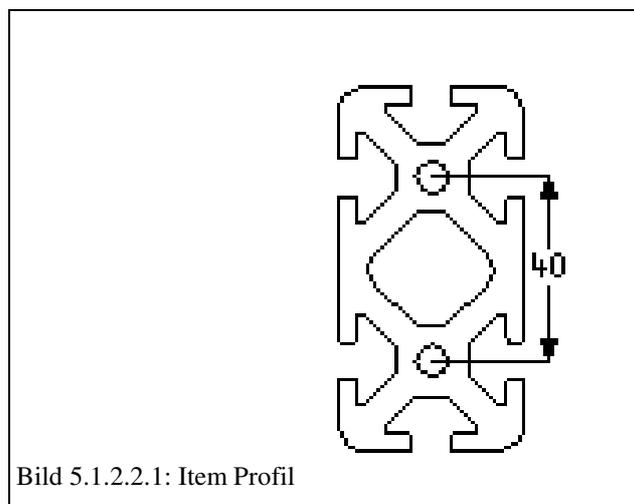


Bild 5.1.2.2.1: Item Profil

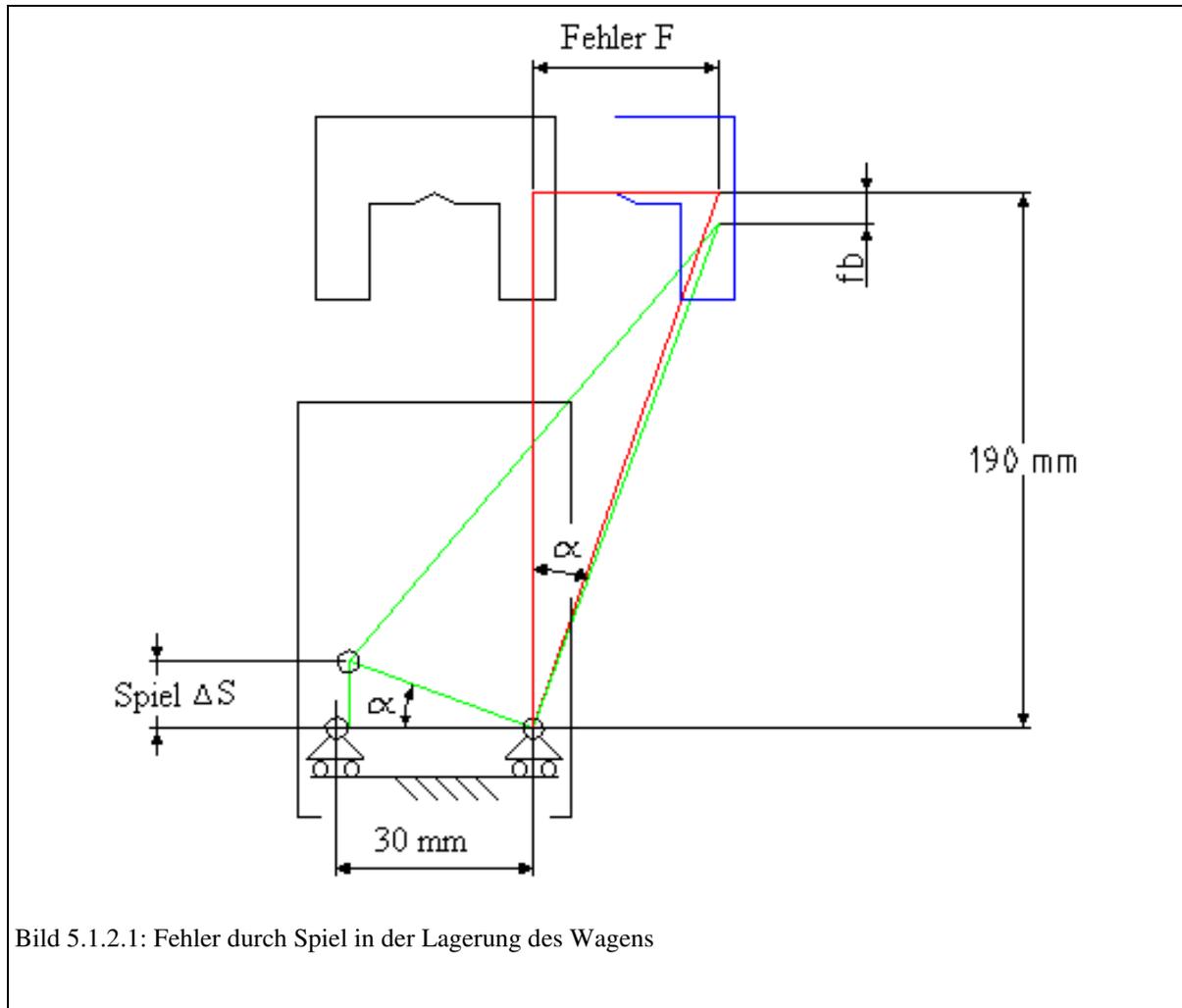
mit einer Schraube fixiert werden. Die Bohrungsabstände von Führungsstange und Spindel sind durch die Item - Profile bestimmt worden. Sie betragen genau 40 mm.

Eine Feder auf der Leitspindel sorgt dafür, daß die Gewindeflanken immer aufliegen.

Genauigkeit

Die Problematik der Horizontalverstellung liegt vor allem in der genauen Führung. Während der Wagen nach vorn und hinten kippen darf, muß er in axialer Richtung sehr genau geführt werden. In dieser Konstruktion wird die Führungsstange, auf welcher der Wagen gleitet, mit einem Gleitlager und - um einem Klemmen vorzubeugen - eines Linearkugellagers befahren. Dabei hat das Gleitlager den Durchmesser $\varnothing 8$ H7. Bei der Führungsstange handelt es sich um gezogenes Material, ebenfalls $\varnothing 8$ h7. Es ergibt sich für diese Paarung aus dem Tabellenbuch eine maximal mögliche Toleranz von 24 μm . [22]

Um den größten Fehler zu berechnen, den ein Führungslager des Wagens haben darf, kann wieder ausgenutzt werden, daß es sich bei den erzeugten Winkeln um sehr kleine Winkel handelt. Der in Bild 5.1.2.1 dargestellte Fehler f_b kann vernachlässigt werden.



Betrachtet man jeweils einen Lagerpunkt als Drehpunkt und berücksichtigt, daß die Führungstangen auch im obersten für das Gewicht erreichbaren Punkt maximal 0,06 mm (Bild 5.1.2.1: Fehler F) Toleranz haben dürfen, so erhält man aus diesem Dreieck (in Bild 5.1.2.1 rot gezeichnet) einen Winkel

$$\alpha = \arctan(0,06\text{mm}/190\text{mm}) \approx 1,80934 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ$$

So ergibt sich das maximale Spiel eines Lagers zu

$$\Delta S = \tan \alpha * 30 \text{ mm} \approx 9,473682 \cdot 10^{-3} \text{ mm.}$$

Bei diesem Spiel wäre es gerade möglich, daß sich durch einfache Bewegung der Teile der Draht auf der Spule nicht genau nebeneinander legen würde. Das ist allerdings nur bei der minimalsten Vorschubgeschwindigkeit, die in der Steuereinheit voreingestellt wird, möglich. Der Wert der Toleranz liegt allerdings über diesem Wert. Also wäre das Gleitlager alleine nicht geeignet. Statt dessen mußte eine lineare Kugelführung eingesetzt werden, die diese Ansprüche erfüllen kann.

Gemessene Werte

Messungen, die an dem Wagen durchgeführt wurden, zeigen jedoch, daß keine Bewegungen in diesen Größenordnungen auftreten (Werte so klein, daß nicht messbar). Das ist damit zu erklären, daß das Toleranzfeld einer H7 - Bohrung vom Durchmesser 8 mm nur im maximalen Fall 12 µm groß ist [22].

Die tatsächliche Fertigung lag in diesem Fall weit unter diesem Wert. Außerdem sind Bewegungen ohnehin nur im Umkehrpunkt zu erwarten. Aus diesem Grund wurde bei diesem Prototyp zunächst auf die Verwendung von zwei Linearkugellager. Bei einer Serienfertigung sollte man aber keinesfalls auf eine komplette Linearführung durch Linearkugellager verzichten, da die bei dieser Konstruktion erreichten Toleranzen mehr oder weniger zufällig sind.

Montage der Führungsstangen

Die Führungsstangen, die das Spanngewicht lagern, dürfen nicht eingeklemmt werden. Ein genaues Fluchten der beiden Stangen wäre dann nicht mehr möglich. Zwei Gewindebohrungen, in die jeweils eine Schraube (M5) eingeschraubt werden kann, kreuzen deshalb die Bohrungen in denen die Führungsstangen stecken. Sie reichen bis zu der Bohrung in denen sich die Lager für die Führungsstange der horizontalen Führung befindet. Damit

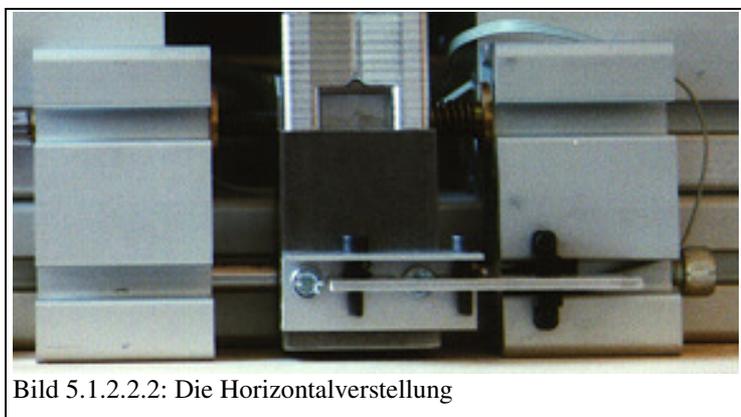


Bild 5.1.2.2.2: Die Horizontalverstellung

kann dann gleichzeitig das Gleitlager befestigt werden. Außerdem können die beiden Schrau-

ben noch die Vorrichtung zur Signalgebung für die Lichtschranke aufnehmen. Weil aber die eine Schraube das Gleitlager feststellt, kann nur die andere Schraube die Vorrichtung feststellen. Die andere Schraube dient dann nur zur Führung. Das Linearkugellager wird in die H7 Bohrung eingepreßt.

Antrieb des Wagens

Die Leitspindel wird über einen Schrittmotor angetrieben, der mit zwei Aluminiumschienen an die Profile angeschraubt sind. Bei der Konstruktion der Aufnahme des Schrittmotors ist zu beachten, daß der Schrittmotor relativ heiß werden kann. Die maximal gemessenen Temperaturen sind bei der geringsten Taktrate - also Drehzahl - zu verzeichnen und liegen bei $45,4^{\circ}\text{C}$. Eine Wärmeabfuhr ist laut Herstellerangaben nicht notwendig, jedoch sollte für eine ausreichende Luftzirkulation gesorgt werden. Der Schrittmotor hängt daher vollkommen frei.

Die zwischen dem Schrittmotor und der Spindel befindliche Kupplung muß vollkommen spielfrei arbeiten und darf besonders beim Wechseln der Drehrichtung kein Spiel haben. Da die Lichtschranke bei dem Schritt ein Signal an die Steuereinheit weiterleitet, wenn der Endpunkt erreicht ist, muß der nächste Schritt natürlich tatsächlich rückwärts gehen. Im anderen Fall könnte es sein, daß die Lichtschranke noch einmal ein Signal aussendet. Trotzdem muß ein

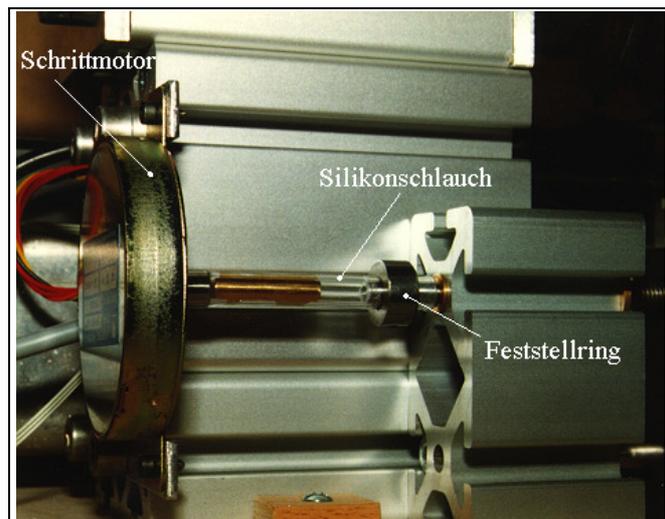


Bild 5.1.2.2.2: Kupplung zwischen Schrittmotor und Spindel

Achsversatz von max. 0,5 mm, sowie ein **Winkelfehler** von max. 1° ausgeglichen werden können. Weiterhin soll ein Klemmen des Wagens keinen Schaden anrichten, daß heißt, im Notfall muß diese Kupplung auch durchdrehen können. Die Drehzahlen sind sehr klein und deshalb bei der Kupplungsauswahl nicht von Bedeutung. Es gibt eine Reihe von Herstellern, die Kupplungen mit solchen Eigenschaften anbieten. Allerdings sind diese Kupplungen alle sehr teuer und viele paßten von ihren Abmaßen her nicht in die Konstruktion. Diese Gründe führten zu einem anderen Ergebnis: Über beide Enden der Wellen wurde zunächst nur probe-

weise ein Stück Silikonschlauch gezogen. Auf dem Wellenstück an der Spindel wurde er mit einem Stahlring und einer Madenschraube fixiert. Das andere Ende klemmt frei auf der Antriebswelle des Schrittmotors. Diese Lösung stellte sich bei einer Erprobung als vollkommen ausreichend heraus. Später wurde in das noch freie Schlauchstück ein Stift eingefügt, da sich der Silikonschlauch beim Blockieren des Wagens - zum Beispiel durch Überschreitung der Endlagen - zunächst verdrillte, bevor er auf dem unbefestigten Stück rutschte.

5.1.2.2.1 Zusammenbau der horizontalen Verstellung

Vor einem Zusammenbau müssen zuerst die Profilstücke bearbeitet werden. Die Lagersitze, sowie die Bohrung in der die Führungsstange steckt, müssen aufgebohrt werden. Die Führungsstange soll später mit einer Schraube (M8) festgeklemmt werden. Ein Profil muß deshalb am Ende ein M8 - Gewindeloch besitzen.

Bei der Montage der Verstelleinheit müssen zunächst die Linear-Führungslager eingeschoben werden. Spindel und Führungsstange müssen im Gleitbock montiert sein. Dabei sitzen auch die Gleitlager und die Andruckfeder ohne große Spannung an ihrer geplanten Stelle. Vor dem Zusammenbau sollten alle Lager, Gleitflächen und Führungen mit Graphit eingerieben werden. Ein späteres Schmieren der Teile ist nicht vorgesehen, daher sollte die Schmierung dieser Teile besonders gründlich gemacht werden.

Die Item - Anschlußprofile (Bild 5.1.2.2.1) müssen dann mit ihren Item - Verbindungselementen verbunden werden. Dabei sollte ein Profilstück fest montiert werden, das andere dagegen muß noch locker sitzen und verschiebbar sein. Zwischen diese Profilstücke wird nun der Gleitbock geschoben. Der sollte auf einem 3 mm hohen Sockel stehen, damit die Führungsstange und die Gleitlager genau in die für sie vorgesehenen Löcher fluchten. Nun können die Elemente ineinander geschoben und dann festgeschraubt werden. Anschließend kann die Kupplung aufgeschoben werden. Zum Schluß wird die Führungsstange mit einer Schraube (M8) festgestellt.

5.3 Antrieb

Die Wicklung ist aufgrund der besonderen Verhältnisse bei diesen Spezialspulen nur in begrenzten Drehzahlen möglich. Nach den Erkenntnissen der Vorversuche liegen diese Drehzahlen im Bereich:

min.: **60 U/min** bis max.:**100 U/min** .

Das wirkt sich natürlich auf die gesamte Konstruktion des Antriebs aus. So brauchen Fliehkräfte nicht berücksichtigt werden und Schmierung und Wärmeabfuhr (ausgenommen beim Elektromotor) spielen eine untergeordnete Rolle. Nur die nötige Genauigkeit der Lagerung sollte eingehalten werden, was aber bei den hier vorliegenden Verhältnissen kein Problem darstellt. Da die gesamte Antriebskonstruktion freiliegt, muß die Welle beim Blockieren in jedem Fall durchrutschen können. Dies wird mit einer Rutschkupplung durch einen Riemenantrieb realisiert (Siehe dazu Bild 5.3.3.1).

5.3.1 Der Motor

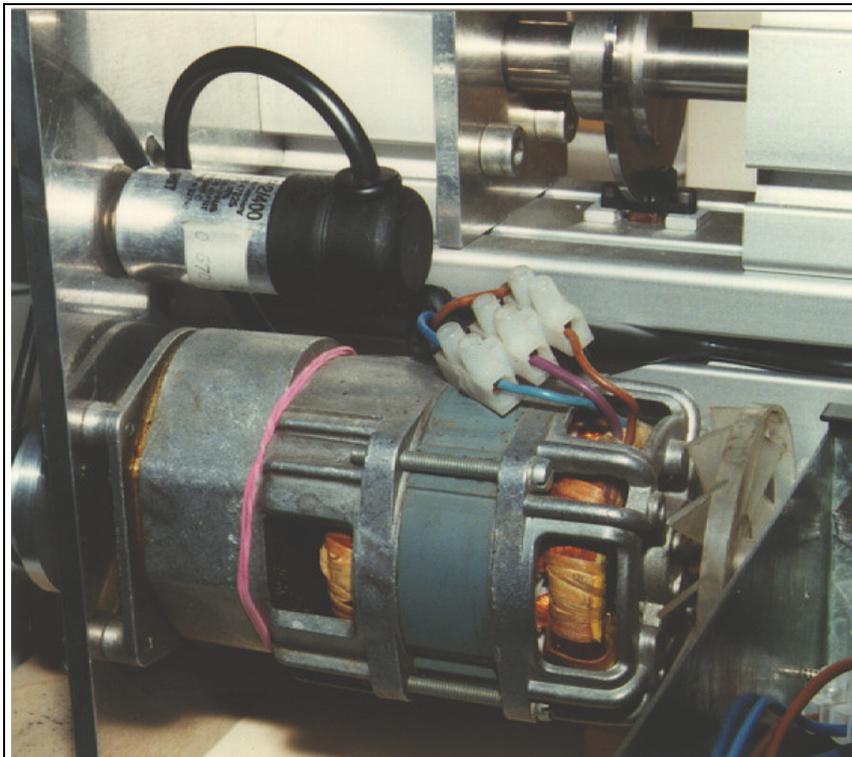


Bild 5.3.1.1: Der Antriebsmotor mit Anlaufkondensator und Vorsatzgetriebe

Bei der Frage, ob ein Gleichstrommotor oder ein Wechselstrommotor verwendet werden sollte, spielen mehrere Faktoren eine Rolle. Die Abtriebsdrehzahl sollte auch im Bereich der Spu-

lenwicklung liegen. Daher ist bei der Verwendung eines Wechselstrommotors ein Vorsatzgetriebe zwingend notwendig. Doch auch ein Gleichstrommotor müßte trotz leicht regelbarer Drehzahl mit einem Vorsatzgetriebe ausgerüstet werden, damit die abgegebene Drehzahl möglichst konstant bleibt. Andernfalls müßte der Gleichstrommotor eine relativ hohe Leistung liefern, um auch bei so geringen Drehzahlen noch ein konstantes Moment abliefern zu können. Es ist auch zu berücksichtigen, daß der Motor die Stromversorgung aus einem Netzteil benötigt. Soll die gesamte Stromversorgung aus dem Netzteil der Steuerung erfolgen, so muß dieses natürlich - entsprechend dem Strombedarf des Motors - größer ausgelegt werden. Letztendlich schlägt sich das hauptsächlich in den Anschaffungskosten nieder.

Nach dem Vergleich der Kosten wurde ein Wechselstrommotor von AEG mit folgenden Merkmalen verwendet:

Spannung:	220 V
aufgenommene Leistung:	0,25 kW
Abtriebsdrehzahl:	93 U/min
Anlaufkondensator:	Kapazität : 2 μ F
Vorsatzgetriebe	
Ø Anschlußwelle:	8 mm

Der gesamte Motor ist generalüberholt, war also auch sehr kostengünstig.

5.3.2 Die Antriebswelle

Der Durchmesser der Antriebswelle (17 mm) wurde durch die verwendeten Lager bestimmt. Die Länge ergab sich aus der gesamten Konstruktion, abhängig von der Zählscheibe und den Lagerabständen, die recht groß gewählt wurden, um einen möglichst geringen Winkelfehler an den Tellern zur Spulenaufnahme zu erreichen.

5.3.2.1 Lagerung

Die verwendeten Lager mußten einen Außendurchmesser von 40 mm haben. Dieses Maß ist genau der innere Durchmesser der Lagerprofile. Außerdem sollten es Spannlager sein, um so eine aufwendige Fixierung der Lager auf der Welle zu vermeiden. Auch die Montage ist mit

Spannlagern relativ problemlos. Es wurden Lager mit einem Innendurchmesser von 17 mm von der Firma INA ausgewählt.

Technische Daten und Abmessungen der Lager:	Bezeichnung: RAE 17 NPP / INA
Innendurchmesser:	17 mm
Außendurchmesser	40 mm
Tragzahl C_{dyn}	9600 N
Tragzahl $C_{0\ stat}$	4750 N
Breite :	12 mm
Länge des Lagersitzes :	19 mm
axialer Abstand der Kugel von der Gehäuseaußenkante:	6,5 mm
Gesamtlänge :	28 mm
maximaler Radius des Exzentrings :	28 mm
Schlüsselweite der Innensechskant-Madenschraube :	3,0
Gewicht :	0,12 kg

5.3.2.2 Lebensdauer

Bei einer Drehzahl, die unter hundert Umdrehungen pro Minute liegt und Kräften weit unter 1 N (gemessene Kraft durch die Belastung mit dem gespannten Riemen) sind die Lager weit überdimensioniert. Eine Berechnung nach der Formel für die nominelle Lebensdauer

$$L_{10h} = (C/P)^3 * 10^6 / (n * 60)$$

ergibt eine Lebensdauer von $\approx 1,47 * 10^{14}$ h .

5.3.2.3 Lagerspiel

Die radiale Lagerluft für dieses Lager ist mit

11 bis 25 μm

angegeben [10].

Die axiale Lagerluft beträgt $\approx 2,2 * \text{radialer Lagerluft}$ [17], also ca.

24,2 bis 55 μm .

Auf Grund der Maßabweichungen bei Spulenkörpern - bei handgefertigten Spulenkörpern werden Toleranzen von ca. 0,4 mm erreicht - machen diese Lagertoleranzen in radialer Richtung maximal

$$(0,025 / 0,4) * 100 = \underline{6,25 \%}$$

in axialer Richtung maximal

$$(0,055 / 0,4) * 100 = \underline{13,75 \%}$$

des zulässigen Spiels aus.

Viel mehr fällt der Wert der Toleranzangabe für die Lagerbohrung im Lagerprofil ins Gewicht. Der Wert ist mit max. $\pm 0,2 \text{ mm}$ angegeben. Das ist also maximal die Hälfte des zulässigen Spiels also 50 %.

5.3.3 Die Spannrolle

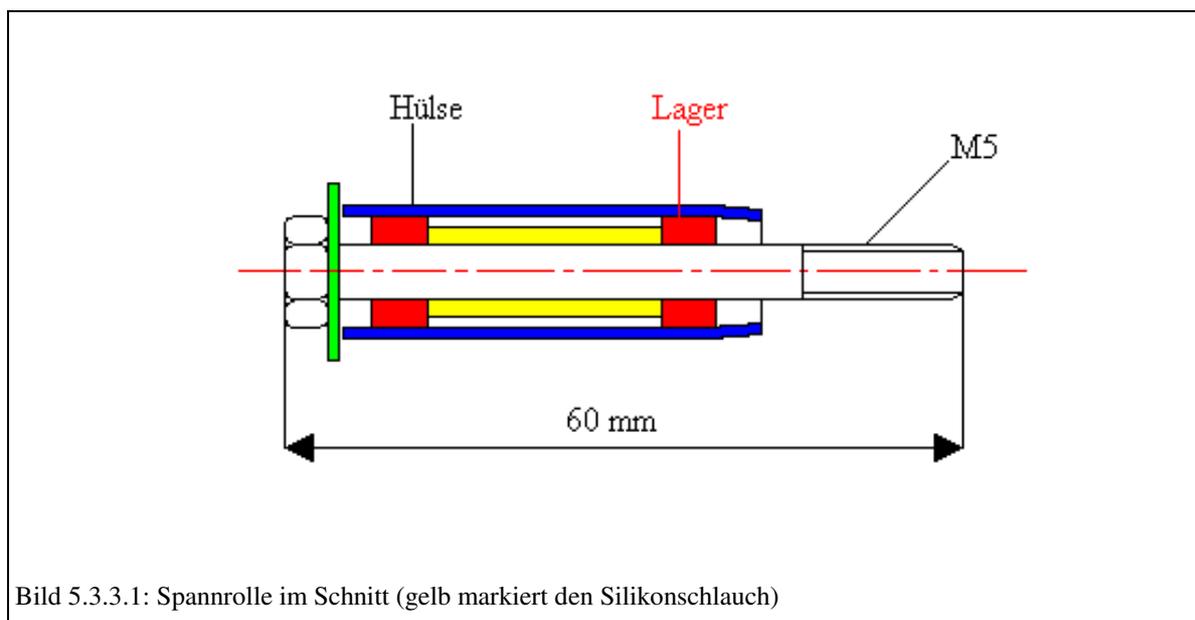


Bild 5.3.3.1: Spannrolle im Schnitt (gelb markiert den Silikonschlauch)

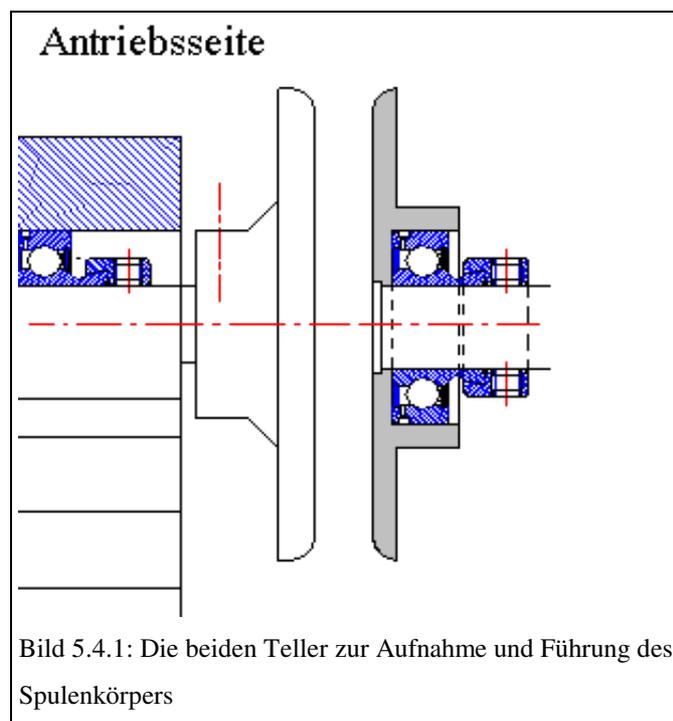
Zum Spannen des Rundriemens wird eine Spannrolle benötigt, die in einer Nut geführt stufenlos einstellbar ist. Die Nut befindet sich in der großen Montageplatte (Zeichnungsnummer 16). Mit zwei Rändelschrauben (eine auf der Vorderseite, eine auf der Hinterseite der Montageplatte) läßt sich die Rolle befestigen. Zwei Rillenkugellager sitzen auf einer 5 mm starken Achse. Sie werden von einem Silikonschlauch in ihrer Position auf Distanz gehalten. Die Hülse, die auf den Außenringen der Lager sitzt, wird von einer Schraube und einer Scheibe (in Bild 5.3.3.1 grün) am Herausfallen gehindert.

5.4 Die Einspannung

Die Spulenkörper fixieren sich zwar normalerweise selbständig durch ihre magnetische Anziehungskraft - außerdem sitzen Sie mit ihrem Deckel in einer Vertiefung, die die Spulenkörper am Verdrehen hindert - trotzdem könnte es vorkommen, daß sich ein Spulenkörper löst oder bewegt.

Beim Einstellen der Spulenhöhe kann es auch zu einem Überlaufen der Spulengrenzen kommen. Damit in diesem Fall der Draht nicht von der Spule abrutscht und sich der Spulenkörper nicht bewegt oder gar herausfällt, muß dieser auf der gegenüberliegenden Seite gestützt und geführt werden.

In dieser Konstruktion geschieht das durch einen zweiten Teller, der sich auf derselben Achse wie der Teller auf der Antriebsseite mitdreht. Auch dieser Teller hat eine Vertiefung und verbirgt so den Spulendeckel. Beide Scheiben sind mit Radien an der Außenkante versehen, damit der Kupferlackdraht bei Überlaufen der Spulengrenzen dort geführt werden kann. Ansonsten würde das Einstellen der Spulengrenzen nicht gleichzeitig zu einem Teil des Wickel-



vorgangs gehören. Der Spulenkörper müßte danach von Draht befreit und erneut eingesetzt werden, was einen erheblichen Anstieg des Arbeitsaufwandes zur Folge hätte.

Beim Einspannen muß ein Teller in axialer Richtung zurückgeschoben werden können, um den Spulenkörper einzusetzen. Eine verschiebbare Stange ist für diese Bewegung zuständig. Sie lagert in einer Hülse, die mit Aluminiumplatten in dem großen Lagerprofilstück festgehalten wird. Die Stange muß feststellbar sein. Zwar treten beim Wickelvorgang selbst kaum Kräfte auf, ein ständiges Vibrieren, verursacht durch den Antriebsmotor oder den Schrittmotor, könnten aber ein Verschieben der Stange bewirken. Deshalb befindet sich in der Führungshülse noch ein Gewinde (M10). Mit einer Schraube kann man die Stange dann in ihrer Position fixieren.

Schmierung

In das selbe Gewindeloch wird auch die Schmierung eingebracht, damit die Spielpassung immer gängig bleibt. Dazu sollte kein Öl, sondern nur Graphitpulver verwendet werden, da keine Maßnahmen zur Ölabdichtung getroffen wurden.

Lagerung

Der Teller, der den Spulenkörper stützen soll, dreht sich auf einem Spannlager

Lagerbezeichnung: RAE 17 NPP / INA,

das wiederum auf der Stange durch einen Exzentrerspannring festgeklemmt ist. Damit dieser Teller nicht von dem Lager abrutscht, ist er durch eine Madenschraube SW 3,0 gesichert.

5.4.1 Die Bedienung

Das Einspannen selbst ist recht einfach. Eine M10 - Schraube wird gelöst und dann wird man am hinteren Ende der Maschine die Achse bis zum Anschlag herausgezogen. Nach Einlegen des Spulenkörpers wird die Achse wieder nach vorne geschoben und befestigt.

6 Steuerung

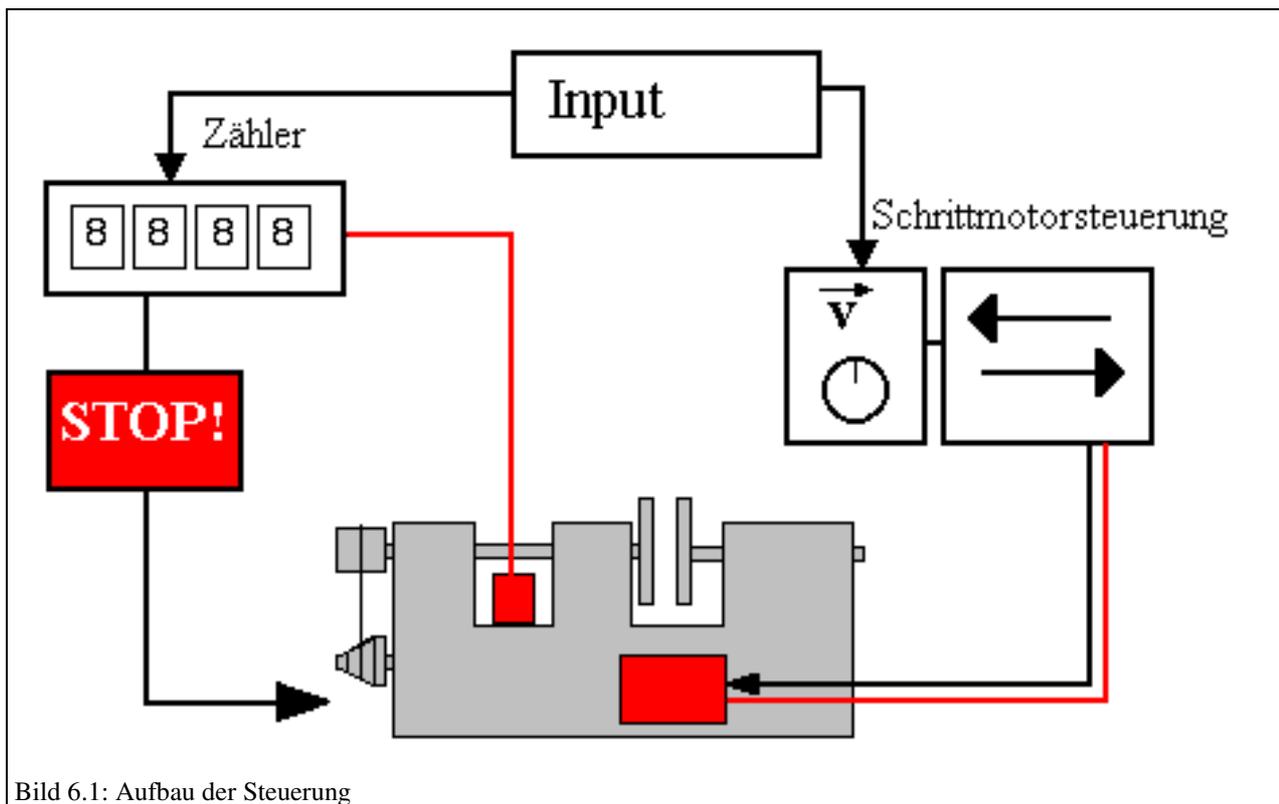


Bild 6.1: Aufbau der Steuerung

Einstellen :

- Position der Richtungsumkehr der Vorschubbewegung
- Geschwindigkeit der Vorschubbewegung
- Stoppen des Wicklungsvorgangs

Einlesen:

- Signale zum Zählen der Wickelumdrehungen
- Signal zur Richtungsumkehrung des Wagens

Ausgeben:

- Wicklungzahl
- Betriebszustand
- Abschalten des Wickelvorgangs
- Richtungsänderung des Wagens
- Drehzahl des Schrittmotors

Speichern:

■ Positionen der Richtungsumkehr (Spulenhöhe)

Vergleich von verschiedenen Systemen

	SPS	PC	Selbstbau
Erfüllung der Anforderungen:	ja	ja	ja
Kosten (ca.)	500 DM	1000 DM	150 DM
Platzbedarf (Standfläche, ca.)	200 x 100	400 x 400	200 x 250
Entwicklungsaufwand	klein	mittel	groß

Der Einsatz eines PC schied aus, da der Platzbedarf zu groß ist. Ein SPS - System ist zwar sowohl in der Lage die Anforderungen zu erfüllen und auch nicht zu groß, da die Kosten bei einem Selbstbau aber offensichtlich sehr gering sind, wurde diese Lösung gewählt. Vor allem im Hinblick auf einen eventuellen späteren Verkauf könnte sich der Entwicklungsaufwand rentieren.

Natürlich hat eine solche Steuerung auch Nachteile. So ist sie nicht flexibel auf andere Aufgaben einzustellen. Die Einstellung der Wicklungszahl ist zwar sehr komfortabel, bei der Einstellung der Spulenhöhe müssen jedoch Abstriche gemacht werden. Allerdings ist gerade dieser Punkt in dieser Konstruktion aus den oben erwähnten Gründen nicht so wesentlich.

6.1 Die Spannungsversorgung

Bei der Auswahl der Spannungsversorgung sollte die Eingangsspannung 220 V Wechselstrom betragen. Die Ausgangsspannung sollte 12 V Gleichstrom sein. Ein größerer Ausgangsstrom von 500 mA ist nicht zu erwarten.

Das folgende Netzteil erfüllte diese Anforderungen:

Stabilisiertes Netzteil 12V/900mA, 16VA Best.-Nr.191264 , Conrad Elektronik

Dieses Netzgerät, aufgebaut mit einem hochintegrierten Spannungsregler, dient vorwiegend vor Versorgung von Bausätzen, Bausteinen, Baugruppen oder Geräten. Die Ausgangsspannung ist stabilisiert und kurzschlußfest.

Dieser Artikel wurde nach der EG-Richtlinie 89/336/ewg (EMVG vom 9.11.1992, Elektromagnetische Verträglichkeit) geprüft und entspricht den gesetzlichen Bestimmungen.[20]

6.1.1 Schaltungsbeschreibung des Netzteilbausteins [20]

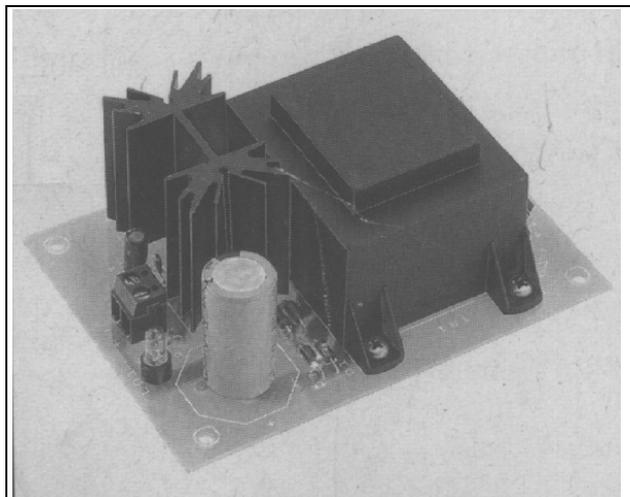


Bild 6.1.1: Der Netztrafo [20]

Die Wechselspannung, die der Netztrafo auf seiner Sekundärseite liefert, wird durch den Brückengleichrichter B1 gleichgerichtet und durch C1 geglättet.

Die unregelte Gleichspannung wird mit einem sogenannten „Dreibeinregler“ mit guten Stabilisierungseigenschaften zugeführt.

Die Bauelemente C2,C3 und C4 verbessern die Regeleigenschaften des IC´s.

Technische Daten [20]:

Eingangsspannung	222-240 V
Ausgangsspannung	12 V Gleichstrom
Ausgangsstrom	max.900 mA kurzschlußfest
Restwelligkeit bei Nennlast	ca.10 mV
Spannungsänderung	bei max. Last ca. 1 mV
Abmessung	100 x 80 mm

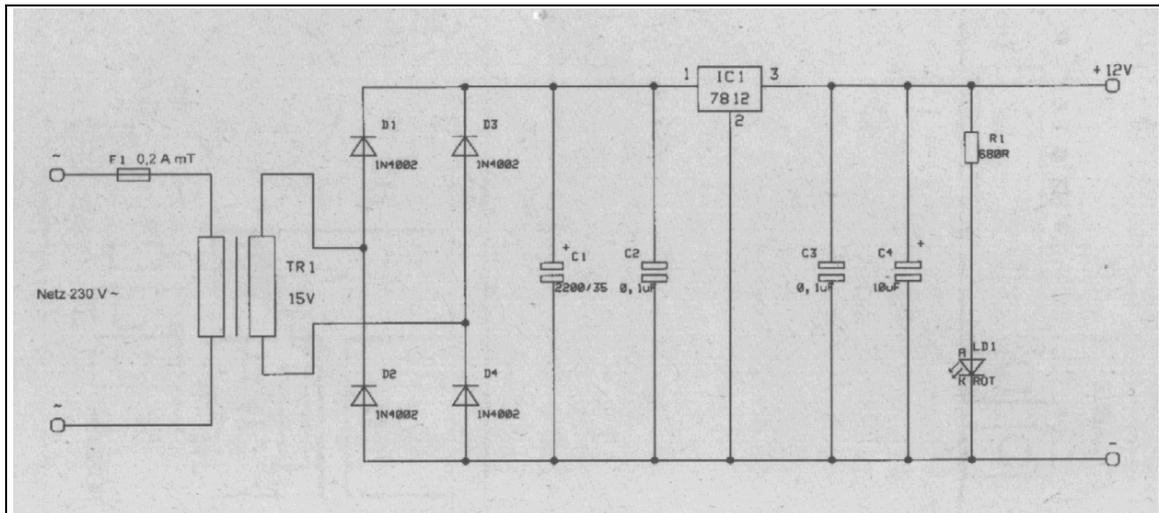


Bild 6.1.1.2 Schaltplan Netztrafo [20]

6.2 Die Schrittmotorsteuerung

Die Schrittmotorsteuerung besteht aus einer Karte zur Ansteuerung für 4-Strang-Unipolare Schrittmotoren, Best.Nr. 190373, Conrad Elektronik.

Ein Schrittmotor wandelt elektrische Impulse in mechanische Drehbewegungen mit definierten Drehwinkeln um. Er stellt das elektromechanische Bauteil dar, dessen Welle den Steuerimpulsen folgend, schrittweise rotiert. Die Vorteile, die man mit elektronisch gesteuerten Schrittmotoren bei der Lösung von Antriebsproblemen zur schnellen und genauen Positionierung erzielen konnte, führten sehr schnell zu einer wesentlichen Erweiterung der Anwendungsmöglichkeiten für dieses moderne Bauelement [19].

Schrittmotoren ermöglichen eine einfache Positionssteuerung mit hoher Zuverlässigkeit und Präzision. Sie sind eine notwendige Hilfe für die Elektronik. Selbst dort, wo früher einfache mechanische Einrichtungen zur Steuerung vorgesehen waren, bieten heute Schrittmotoren bessere Arbeitsergebnisse.

Die mit Schrittmotoren ausgestatteten Systeme erfordern zwar einen gewissen Aufwand, bieten aber den Vorteil einer einfachen Motorsteuerung, an deren Prinzip sich nichts geändert hat, obwohl die Steuerschaltungen raffinierter und zuverlässiger geworden sind. Die Betriebseigenschaften der Schrittmotoren hängen von der Steuerelektronik ab.

Die Vorteile eines Schrittmotors können nur realisiert werden, wenn er richtig betrieben wird. Für den Betrieb müssen eine Gleichstromversorgung, ein Steuerschalter und eine Steuerimpuls-Quelle (Digitalinformation) vorhanden sein. Die entsprechende Gleichstromversorgung wird dem Motor

über einen elektronischen Schalter zugeführt. Die Antriebswelle des Motors dreht sich bei jedem Schritt, der dem Motor in Form eines Impulses aus dem elektronischen Steuerschalter zugeführt wird, um einen Schritt. Der Schrittwinkel hängt vom Motortyp ab und kann im Bereich von $3^{\circ}45'$ bis 15° liegen. Bei 24 Steuerimpulsen und einem Schrittwinkel von jeweils 15° macht die Motorwelle also eine volle Umdrehung. Die erforderliche Zeit für diese Aktion ist abhängig von den Steuerimpulsen.

Sie können von einem Oszillator mit veränderter Frequenz erzeugt werden oder durch andere Steuerquellen wie z.B. perforiertes Band, Magnetband usw. gegeben sein [19].

Die Standard - Schrittwinkel sind [19]:

- 1,8° entsprechend 200 Schritte pro Umdrehung
- 3,75° entsprechend 96 Schritte pro Umdrehung
- 7,5° entsprechend 48 Schritte pro Umdrehung
- 15° entsprechend 24 Schritte pro Umdrehung

Die Steuerelektronik wurde speziell für 4-Strang-Schrittmotoren bis maximal 400 mA Strangstrom entwickelt. Die Ansteuerung des Schrittmotors (Schritte) erfolgt über einen internen Taktgenerator, stufenlos von ca. 25 Hz bis 450 Hz einstellbar. Der Motor wird über zwei Schalter in Betrieb genommen, wobei einer die Drehrichtung bestimmt und der andere den Takt (Ansteuerung) freigibt. Anstelle dieser Schalter kann der Baustein auch über LSL-kompatible Logikpegel direkt gesteuert werden. Zum Einspeisen eines externen Taktes (z.B. aus einem Computer) kann der interne Taktgenerator stillgelegt werden.

Technische Daten [19]:

- Betriebsspannung : 11 ... 15V Gleichstrom
- Strangstrom : maximal 400 mA
- Abmessung : 75 x 50 mm

6.2.1 Schaltungsbeschreibung der Schrittmotorsteuerung

Das Herz der Schaltung bildet die integrierte Schaltung SAA 1027. Diese dient zur Ansteuerung von 4-Strang-Unipolar-Schrittmotoren. Sie wandelt eine Folge von Steuerimpulsen in sequentielle Signale um und ermöglicht somit die Ansteuerung der Schrittmotoren.

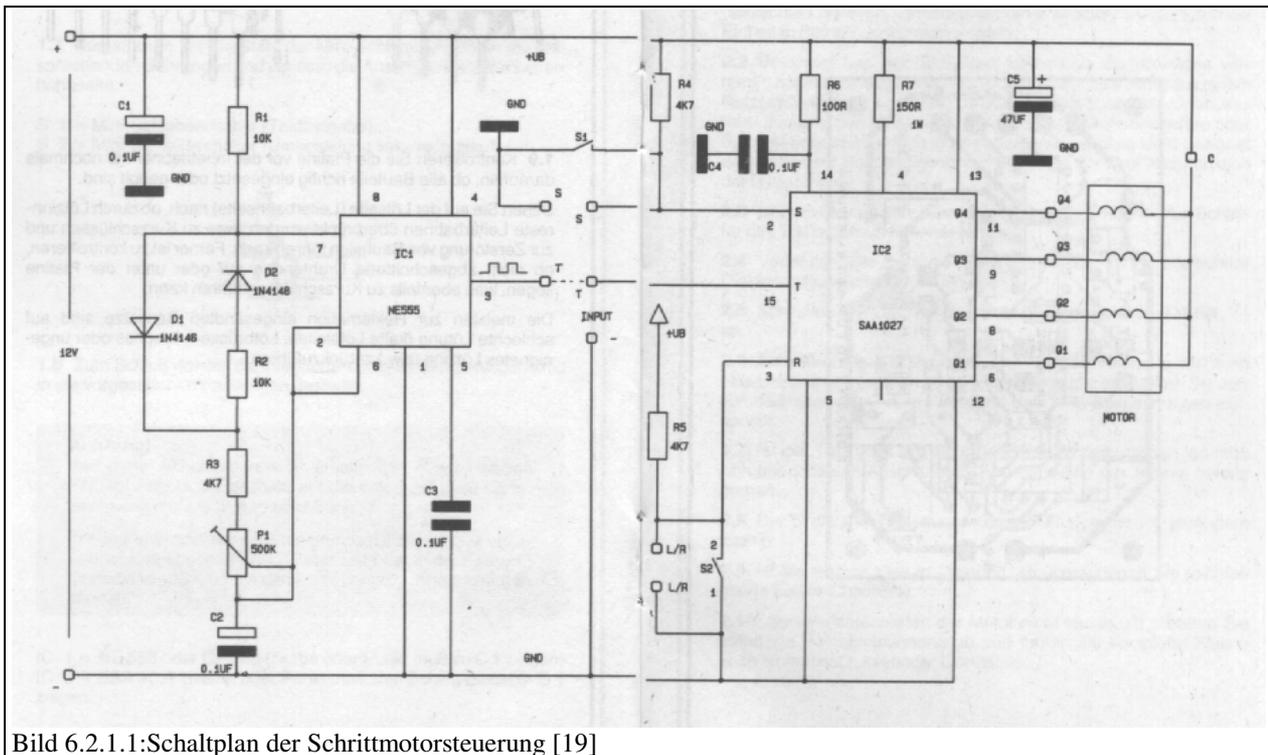


Bild 6.2.1.1: Schaltplan der Schrittmotorsteuerung [19]

Die integrierte Schaltung besteht aus drei Eingangsstufen, einem Logikteil und vier Ausgangsstufen. Bei den Eingangsstufen handelt es sich um:

Die **Triggerstufe** (T), die beim Eintreffen des Steuerimpulses bewirkt, daß der Rotor eine definierte Drehbewegung ausführt.

Die **Eingangsstufe** (R) zur Festlegung der Drehrichtung.

Die **Setzstufe** (S) zur Nullstellung der Logik.

Alle drei Eingänge sind LSL kompatibel.

Die vier Ausgangsstufen können jeweils mit einem Strangstrom von etwa 400 mA belastet werden. Eingebaute Dioden schützen die Ausgangsstufen vor Spannungsspitzen, die beim Schalten der Strangspulen auftreten können.

Da die im Motor gespeicherte Energie über die eingebauten Dioden vernichtet wird, steigt die Temperatur der integrierten Schaltung mit der Zunahme der Schrittfrequenz.

Eingänge der Schaltung SAA 1027.

Eingang (R) für Drehrichtung (PIN 3).

HIGH = Linkslauf, LOW = Rechtslauf;

Die Drehrichtung kann jederzeit unabhängig vom Zustand der Eingänge S und T geändert werden.

Eingang T für Schritimpulse (PIN 15).

Die Schaltung wird durch die LH-Flanke des Eingangssignals getriggert.

Eingang S für Nullstellung (PIN2).

6.3 Zähler

Die Auswahl der Zählelektronik fiel auf den

Up-Down-Zähler Best.Nr. 115533, Conrad Elektronik .

Dieser vorsetzbare Up-Down-Zähler verfügt über eine vierstellige leuchtstarke 13 mm LED-Anzeige. Der Zähler besitzt zwei unabhängige Eingänge, die über einen mechanischen Kontakt (Schließer) oder über einen Schalter (Open Kollektor)

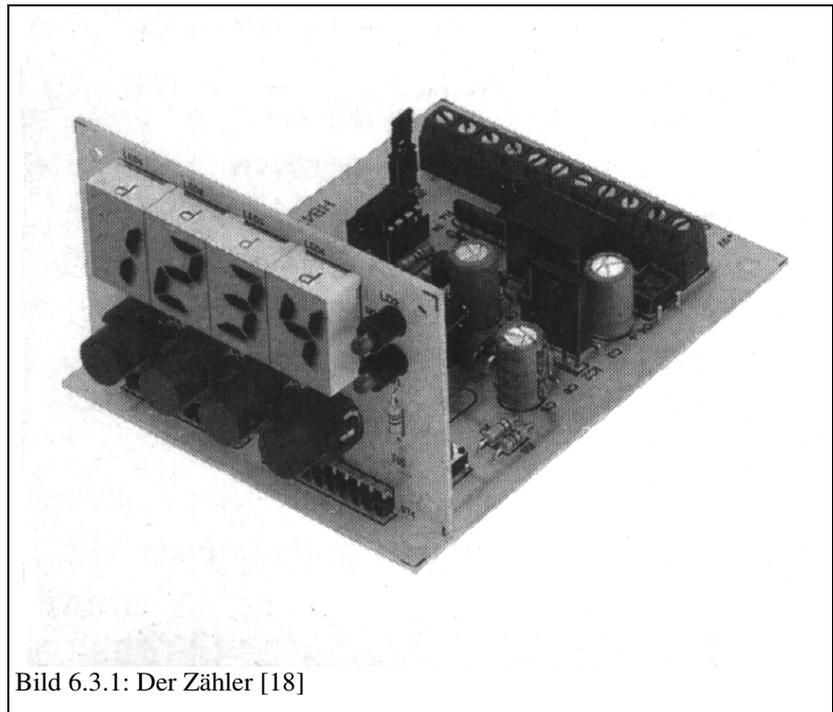


Bild 6.3.1: Der Zähler [18]

angesteuert werden können. Über eine menügesteuerte Eingabe kann der Zähler als Auf-, Abwärts-, Summen- oder Differenzzähler programmiert werden. Als Ausgang steht entweder ein potentialfreier Relaisausgang oder ein Open-Kollektor-Transistorausgang zur Verfügung [18].

Wird beim Zählen der Eingangsimpulse der vorgeetzte Wert erreicht, so schaltet wahlweise das eingebaute Relais oder der Transistor - Schaltausgang wird gegen GND geschaltet. Durch ein externes Signal kann der Zähler gestartet, gestoppt und zurückgesetzt werden. Mehrere dieser Zählermodule sind miteinander kaskadierbar [18]

6.3.1 Schaltungsbeschreibung des Up-Down-Zählers [18]

Die 20 Ein/Ausgabe- Leitungen (Ports PA..., PB... bzw. PC) von IC 1 sind bidirektional, d.h. ihre Übertragungsrichtung läßt sich während der Programmausführung von Eingang auf Ausgang bzw.

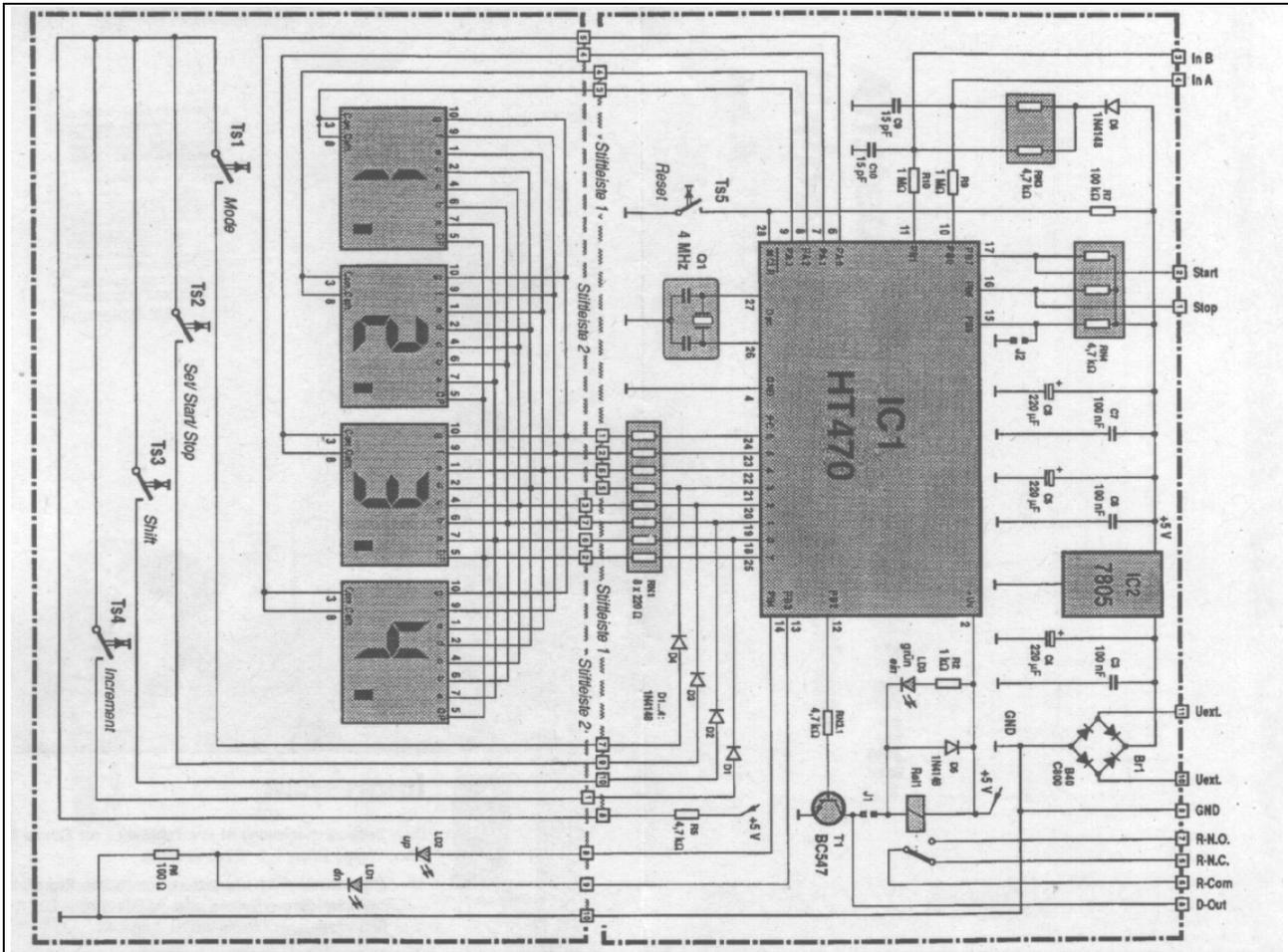


Bild 6.3.1.1: Schaltplan des Zählers [18]

Umgekehrt umschalten.

Dieses Verhalten läßt sich besonders anschaulich am Beispiel der Display - Steuerung und Tastenabfrage erläutern. Welche Segmente a . . . g leuchten sollen, bestimmt das HIGH - Potential am Port PC6 . . . 0, wenn diese auf Ausgang geschaltet sind; für welches Digit dieses Balkenmuster gelten soll, bestimmt der LOW - Pegel am Port PA3 . . . 0, von dem jeweils nur eine Leitung aktiv ist (ebenfalls Ausgänge). Nachdem in schneller Folge ein Multiplex - Zyklus für die Anzeige durchlaufen ist, werden die Port - Bits PC3 . . . 0 auf Eingang umgeschaltet, um die Tasten abzufragen.

Im Ruhezustand erkennt das Programm, daß diese vier Eingänge offen sind. Erst beim Drücken

einer der vier Tasten Ts1 . . . 4 wird der vom Pull - up - Widerstand R5 gelieferte HIGH - Pegel an das betreffende Port - Bit geführt. Daran erkennt der Controller erstens, daß überhaupt eine Taste gedrückt ist, und zweitens ist es unzweifelhaft, um welche Taste es sich handelt; dementsprechend erfolgt die Verzweigung in den zugehörigen Programmteil.

Dieses Wechselspiel zwischen Anzeige - Aktivierung und Tastenabfrage vollzieht sich innerhalb weniger Millisekunden, so daß es für unser Auge nicht mehr wahrnehmbar ist; das Display leuchtet vollkommen flimmerfrei. Außerdem hat ein schneller Abfragezyklus den Vorteil, daß die Reaktion auf einen Tastendruck sehr rasch erfolgt; man hat den Eindruck, als reagiere die Schaltung verzögerungsfrei auf jede Eingabe, weil jeweils nur wenige Millisekunden vergehen.

Die acht Bits von Port PB sind gemischt belegt. Die Bits PB2, 3 und 4 werden als Ausgang betrieben; ein HIGH - Pegel an PB3 oder PB4 schaltet eine der beiden Leuchtdioden LD1 bzw. LD2 ein, die die Zählrichtung signalisiert (vorwärts/rückwärts). PB2 liegt im Ruhezustand ständig auf LOW und geht nur dann auf HIGH, wenn der aktuelle Zählerstand mit dem voreingestellten Wert übereinstimmt (beim Vorwärtzzählen; up) bzw. Wenn Null erreicht ist (beim Rückwärtzzählen; dn); in diesem Augenblick schaltet der Transistor T1 durch und aktiviert das Relais, sofern die Brücke J1 gesteckt ist.

Dabei unterscheidet das Programm aber wieder je nach gewählter Betriebsart, wie sich der Ausgang PB2 verhält: Beim Einmal - Zählen (Single Count; SC) verharrt der Treiber - Ausgang so lange im aktiven HIGH - Zustand, bis er durch das Rücksetzen (Reset - Knopf) davon erlöst wird. Der Zähler bleibt bis zum Zurücksetzen beim erreichten Stand stehen und blockiert.

Beim fortlaufenden Zählen (Continuous Count; CC) wird der Ausgang nur kurzzeitig aktiv (ca. 20 ms). Anschließend erfolgt ein neuer Durchlauf, so daß man in diesem Modus z. B. mehrere Module kaskadieren kann.

Die Bits PB1 und 0 sowie PB5 . . . 7 werden als Eingänge betrieben. PB0 (In A) und PB1 (In B) sind die eigentlichen Zählereingänge, die beim fertig konfektionierten Zähl-IC Takt oder Clock heißen. Wie Sie sehen, sind diese beiden Bits mit den hochohmigen Vorwiderständen R9/R10 und den „ HF - Klatschen „ C9/C10 geschützt und werden im Ruhezustand über D6 plus 2 x 4,7 k Ω nach Plus gezogen.

Der aktive Zustand dieser Eingänge PB5 ... 7 legt das Detailverhalten fest. Wenn die Brücke J2 an PB5 gesteckt ist, führt der Chip nach dem Einschalten einen Selbsttest der Anzeige und Tastatur durch; man kann sich damit auf einen Blick vergewissern, ob z.B. alle Segmente noch in Ordnung sind.

Port - Bit PB6 dient dazu, das Weiterzählen elektrisch anzuhalten (mit LOW - Pegel); bei offenem Eingang sorgt der Pull - up - Widerstand dafür, daß das Zählen unterbrechungsfrei weiterläuft.

Port - Bit PB7 ermöglicht bei schnellen Taktsignalen das exakte Starten; nachdem man die Starttaste Ts2 gedrückt hat, beginnt das Zählen erst dann, wenn PB7 auf HIGH geht (elektronische Auslösung des Zählvorgangs).

Der Eingang MCLR (Master Clear; am Querstrich erkennt man, daß dieser Anschluß aktiv LOW ist). Hierüber greift man mitten ins Geschehen ein und bewirkt ein Zurücksetzen des Controllers, egal an welchem Punkt der Programmausführung er sich befindet. In seiner Auswirkung entspricht das dem Aus- und Wiedereinschalten der Versorgungsspannung.

Der interne Oszillator des Controllers wird hier mit einem Quarz beschaltet (Pins 26&27), damit sämtliche Zeitvorgänge stabil ablaufen. Eine Zeitbasis für die Zählvorgänge wird davon nicht abgeleitet, weil es sich hier nicht um einen Frequenz - sondern um einen reinen Ereigniszähler handelt !

Die maximal mögliche Zählfrequenz wird von der internen Verarbeitung bestimmt. Im Normalfall benötigt das Programm knapp 100 μ s, um nach dem Eintreffen der negativen Taktflanke den Zählerstand um eins zu erhöhen; daraus resultiert eine maximal mögliche Taktfrequenz von ca. 10 kHz, die auch verarbeitet wird.

Wenn es aber zum Übertragen kommt (z.B. von 0099 auf 0100 oder gar von 0999 auf 1000) dann wird damit soviel Zeit verloren, daß bei 10 kHz Taktfrequenz der eine oder andere Impuls unter den Tisch fällt; aus diesem Grund sind in den technischen Daten nur eine Zählfrequenz von 5 kHz angegeben.

Zusammenbau des Up - Down Zählers

Bei der Bestückung geht alles seinen gewohnten Gang, nur an einigen Stellen sollte man besonders aufpassen. Man beginnt mit der Basisplatine, die zunächst komplett fertiggestellt wird. Nach dem Einsetzen der Dioden (hier muß man den Kathodenring beachten !) und Kohleschichtwiderstände lötet man die Fassung für IC1 ein (Markierungskerbe neben D5 beachten !).

Verpolungsgefahr besteht auch beim Brückengleichrichter Br1 (+ und - an der Platinenaußenkante !). Er wurde zur Sicherheit eingefügt, damit man die externe Versorgungsspannung mit beliebiger Polarität zuführen kann. 5-V-Stabi IC2 zeigt mit seinem Metallflansch zu C6 hin.

Leuchtdiode LD3 zeigt mit der Kathode (der kürzere Anschluß) zu T1; beim Quarz ist die Einbaulage wiederum beliebig, während die Elkos richtig gepolt einzulöten sind.

Problemstellen sind auch wieder die Anschlußklemmen, wie sie am oberen Platinenrand zu finden sind. Während alle normalen Bauteile mit relativ geringer Heizleistung gelötet werden können, muß man diese Klemmen deutlich länger erwärmen, damit es hier nicht zu kalten Lötstellen kommt.

Bei der Anzeige - und Bedienplatine ist die richtige Lage der Siebensegmentdisplays zu beachten; die Typenbezeichnung muß zu den Tasten hin zeigen ! Auch die vier Taster dürfen nicht verkehrt eingesetzt werden: Ihre kaum merklich abgeflachte Seite muß in Richtung Anzeigen liegen, weil es sonst keinen Kontakt gibt ! Bei den Stiftleisten beginnt die Numerierung links am Pünktchen; das ist hilfreich bei einer eventuellen Fehlersuche (vgl. Schaltbild).

Bei Verwendung so komplexer Schaltkreise wie einem Mikrocontroller ist eine schrittweise Inbetriebnahme nicht möglich; darum sollte man nach dem Bestücken alles noch einmal besonders sorgfältig kontrollieren. Um die Schaltung auszuprobieren, schließen Sie an Uext eine Spannung von 9 . . . 15 V an, wobei die Brücke J2 zunächst noch gesteckt sein soll; ein Durchklappern aller Segmente muß die Reaktion sein, wenn der Eigentest abläuft.

Um aus diesem oder jedem anderen Betriebszustand wieder herauszukommen, kann man entweder zwei Sekunden lang die Set - Taste Ts2 betätigen (= Software - Reset) oder gleich zum Hardware

- Reset mittels Mini - Taster Ts5 greifen. Danach befindet sich die Schaltung im Grundzustand, von dem aus die Wahl der Betriebsart und die gewünschte Voreinstellung erfolgt.

Als erstes erfolgt die Wahl der Betriebsart, was mit Mode - Taste Ts1 geschieht; jeder weitere Tastendruck schaltet zyklisch weiter, d. h. nach A - B geht es wieder weiter bei A _ up usf.

Beim Auf - und Abwärtszählen (A _ up bzw. A_ dn) wird nur der Eingang In A abgefragt; mit der negativen Flanke geht es weiter, vorausgesetzt, die Steuereingänge Start und Stop liegen auf HIGH bzw. sind offen.

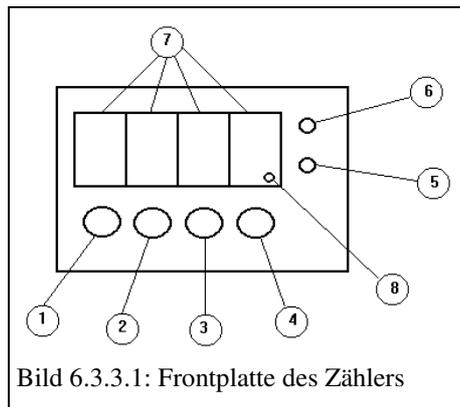
Als Summen - bzw. Differenzzähler (AuB bzw. A-B) fragt der Controller beide Eingänge In A und In B ab; im ersten Fall führt jeder Impuls an A oder B zu einem Weiterzählen, während im zweiten Fall die A - Impulse aufwärts und die B - Impulse abwärts gezählt werden. Die Mode - Einstellung verläßt man mit der Set - Taste Ts2.

Nun wählt man mit der Taste Ts4 (Increment) zwischen einmaliger und wiederholender Zählweise (Single bzw. Continuous Count; SC/CC). Auch diesen Menüpunkt verläßt man wieder mit der Set - Taste Ts2.

Beim Vorwärtszählen kann, von Null beginnend, bei einem voreingestellten Wert gestoppt werden; beim Rückwärtszählen kann bei einem voreingestellten Wert begonnen und bei Null gestoppt werden. Dazu wählt man mit der Shift - Taste Ts3 nacheinander die einzelnen Digits aus; das jeweils aktivierte fängt dann an zu blinken. Mit der Increment - Taste Ts4 erfolgt dann die Einstellung der gewünschten Ziffer 0 . . . 9, ehe es beim nächsten Digit weitergeht.

Nun ist der Zähler bereit zum Betrieb. Der erste Druck auf Taste Ts2 (Start/Stop) startet den Zählvorgang, der zweite stoppt ihn wieder usf. (mit der Möglichkeit der Unterbrechung, s. o.). Um sich bei längeren Vorgängen den Zwischenstand anzeigen zu lassen, braucht man nur Taste Ts1 (Mode) zu bestätigen.

6.3.3 Bedienung des Gerätes



1 = MOD - Taste

Mit der MOD - Taste können die verschiedenen Betriebsarten ausgewählt werden. Es stehen vier Betriebsmodi zur Verfügung:

A_uP = Aufwärtszählen (Up - Count)

Jeder Eingangsimpuls erhöht die Displayanzeige um den Wert 1

A_dn = Abwärtszählen (Down - Count)

Jeder Eingangsimpuls vermindert die Displayanzeige um den Wert 1.

AuB = A + B (Summen - Zählung)

Jeder Eingangsimpuls an Eingang A oder B erhöht die Displayanzeige um den Wert 1.

A - B = A - B (Differenz - Zählung)

Jeder Eingangsimpuls an Eingang A erhöht die Displayanzeige um den Wert 1, jeder Eingangsimpuls an Eingang B vermindert den Displaywert um den Wert 1. Wird dieser Zählmodus ausgewählt, so ist unbedingt darauf zu achten, daß die Menge der Eingangsimpulse am Eingang A überwiegt, da der Zähler nicht in den negativen Bereich zählen und anzeigen kann !

Wird die MOD-Taste während des normalen Zählvorgangs gedrückt, so wird die momentane Anzeige „eingefroren“, obwohl der Zähler im Hintergrund weiterzählt. Man kann so leicht Zwischenstände des Zählers abfragen, ohne den Zählvorgang unterbrechen zu müssen.

Ein solches Zwischenergebnis wird mit einer schnell blinkenden Anzeige dargestellt.

2 = SET/START/STOP/RESET-Taste

Mit dieser Taste werden Eingaben bestätigt (SET), der Zähler gestartet (START) und gestoppt (STOP), und die Displayanzeige auf „0000“ zurückgesetzt (RESET).

Zum Rücksetzen der Anzeige auf den Wert „0000“ muß diese Taste ca. 2 Sekunden lang gedrückt werden.

3 = < - Taste

Mit dieser Taste wird die Blinkcursor-Position um eine Stelle nach links verschoben.

4 = /\ - Taste

Mit dieser Taste kann der Wert des Blinkcursors erhöht, bzw. der Zählmodi Single Count (SC) oder Continuous Count (CC) gewählt werden.

5 = Anzeige-LED für Zählmodus Down

Leuchtet diese LED, so ist der Zähler im A_dn (Abwärtszählen, Eingang A) Modus geschaltet. Leuchtet diese LED zusammen mit der LED 6 (Up), so ist der Zählmodus A + B (Summenzählung) eingestellt.

Leuchtet sowohl diese LED, als auch die LED 6 nicht, so ist der Zählmodus A - B eingestellt.

6 = Anzeige-LED für Zählmodus Up

Leuchtet diese LED, so ist der Zähler im A_up (Aufwärtszählen, Eingang A) Modus geschaltet. Leuchtet diese LED zusammen mit der LED 5 (Down), so ist der Zählmodus A + B (Summenzählung) eingestellt.

Leuchtet sowohl diese LED, als auch die LED 5 nicht, so ist der Zählmodus A - B eingestellt.

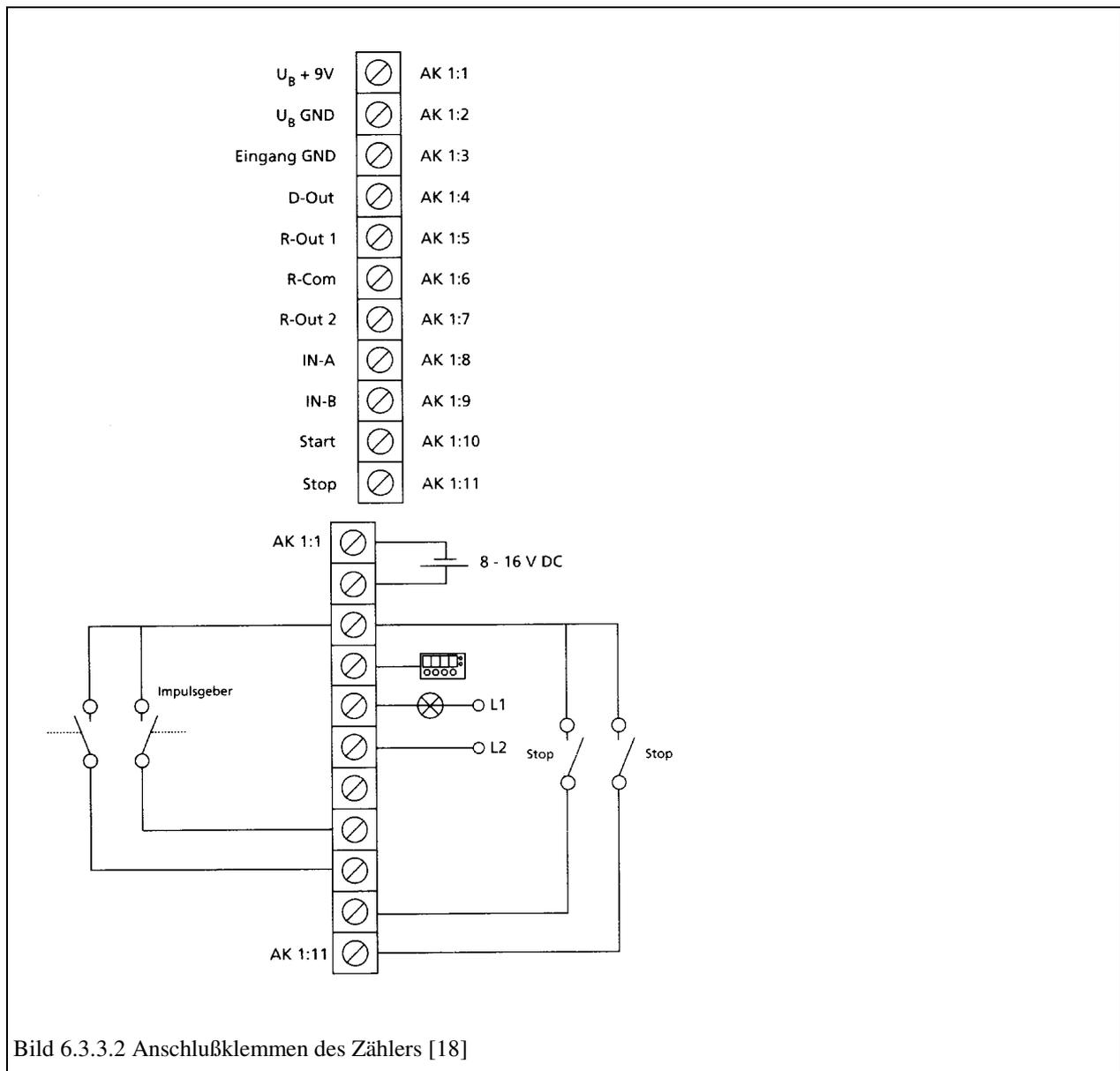
7 = 7-Segment-Anzeige

Dieses Display zeigt die Anzahl der Eingangsimpulse im Bereich von 0000 bis 9999an.

8 = Stop-Anzeige

Dieser Punkt leuchtet auf, wenn der Zähler mit der Taste 2 gestoppt wurde. Ein erneuter Druck auf Taste 2 startet den Zählvorgang wieder - der Punkt erlischt.

Die Anschlüsse des Zählers:



AK 1:1 (+ 9 V, GND) An diese beiden Anschlußklemmen wird die Betriebsspannung angeschlossen.

AK 1:2 Die Betriebsspannung darf 8 - 16 V DC, oder maximal 9V AC nicht überschreiten. Auf eine besondere Polung der Betriebsspannung braucht nicht geachtet zu werden !

AK 1:3 (GND) Hier wird der GND des Impulsgebers angeschlossen (Digital GND).

- AK 1:4** (D-OUT) Sollen mehrere dieser Geräte kaskadiert werden, so ist dieser Ausgang mit dem Eingang des nächsten Gerätes zu verbinden. Dieser Ausgang ist ein Open-Kollektor-Ausgang, der maximal 100 mA treiben kann. Wird dieser Ausgang benutzt, so ist der Jumper JP 1 (Relais) abzuziehen !
- AK 1:5** (R-Out 1) Hier ist der Schließer-Kontakt des Relais K 1 angeschlossen. Im Ruhezustand ist dieser Kontakt offen.
- AK 1:6** (R-COM) Hier ist der Umschaltkontakt (COM) des Relais K 1 angeschlossen.
- AK 1:7** (R-OUT 2) Hier ist der Öffner-Kontakt (COM) des Relais K 1 angeschlossen.
- AK 1:8** (IN-A) Eingang A: Hier wird das Eingangssignal für Kanal A angeschlossen. Die Eingangsimpulse müssen entprellt sein, und dürfen eine Wiederholffrequenz von 5 kHz nicht überschreiten. Die Eingangsamplitude des Signals darf sich in einer Größenordnung von mindestens + 2,5 V und maximal + 60 V bewegen !
- AK 1:9** (IN-B) Eingang B: Hier wird das Eingangssignal für Kanal B angeschlossen. Die Eingangsimpulse müssen entprellt sein, und dürfen eine Wiederholffrequenz von 5 kHz nicht überschreiten. Die Eingangsamplitude des Signals darf sich in einer Größenordnung von mindestens +2,5 V und maximal 60 V bewegen !
- AK 1:10** (Start, Stop) An diesen Klemmen liegt im normalen Betrieb High-Potential an.
- AK 1:11** Werden diese Eingänge mit GND verbunden (low) wird der Zähler gestoppt. Erst wenn beide Eingänge wieder auf HIGH sind, wird der Zählvorgang fortgesetzt.

Bedienungsanleitung:

Mit der MOD-Taste kann zwischen den einzelnen Zählmodi umgeschaltet werden. Durch drücken der MOD-Taste wechselt die Anzeige zwischen den Werten **A_{uP}** (jede fallende Flanke an "In A" erhöht die Displayanzeige um den Wert 1), **A_{dn}** (jede fallende Flanke an "In A" verringert die Displayanzeige um den Wert 1), **AuB** (jede fallende Flanke an "In A" oder "In B" erhöht die Displayanzeige um den Wert 1) oder **A-B** (jede fallende Flanke an "In A" erhöht den Display Wert, jede fallende Flanke an "In B" erniedrigt den Display Wert um 1).

Wird nach der MOD-Taste die SET-Taste gedrückt, erscheint auf dem Display die Anzeige **SC** (single count). Mit der Up-Taste kann zwischen **SC** (single count) und **CC** (continuous count) umgeschaltet werden.

Im "single count" Modus zählt der Zähler einmal bis zum vorgegebenen Endwert und gibt bei Erreichen dieses Wertes ein Dauersignal über das Relais aus. Die Ausgabe diese Signals kann mit der SET-Taste beendet werden.

Im "continuous count" Modus zählt der Zähler bis zum vorgegebenen Endwert, gibt als Ausgangssignal einen Impuls (ca. 100 msec.) aus und beginnt mit einem Zählen wieder beim Startwert.

Mit der SET-Taste wird der im Display angezeigte Modus bestätigt (SC oder CC) und die Anzeige wechselt auf den Wert 0000, wobei die niedrigste Stelle blinkt.

Mit der "←" - Taste kann zur nächsten höherwertigen Dezimalstelle auf dem Display gewechselt werden. Von der höchstwertigen Dezimalstelle (MSD) wechselt die Anzeige wieder zur niederwertigsten Dezimalstelle (LSD). Die aktuelle Dezimalstelle wird durch das "Blinken" der Ziffer gekennzeichnet.

Mit der "↑" - Taste kann die aktuelle Dezimalstelle von 0 bis 9 erhöht werden. Wird der Wert auf 9 erhöht, wechselt die Anzeige wieder auf 0.

Durch drücken der SET-Taste übernimmt der Zähler den angezeigten Displaywert und beginnt zu zählen.

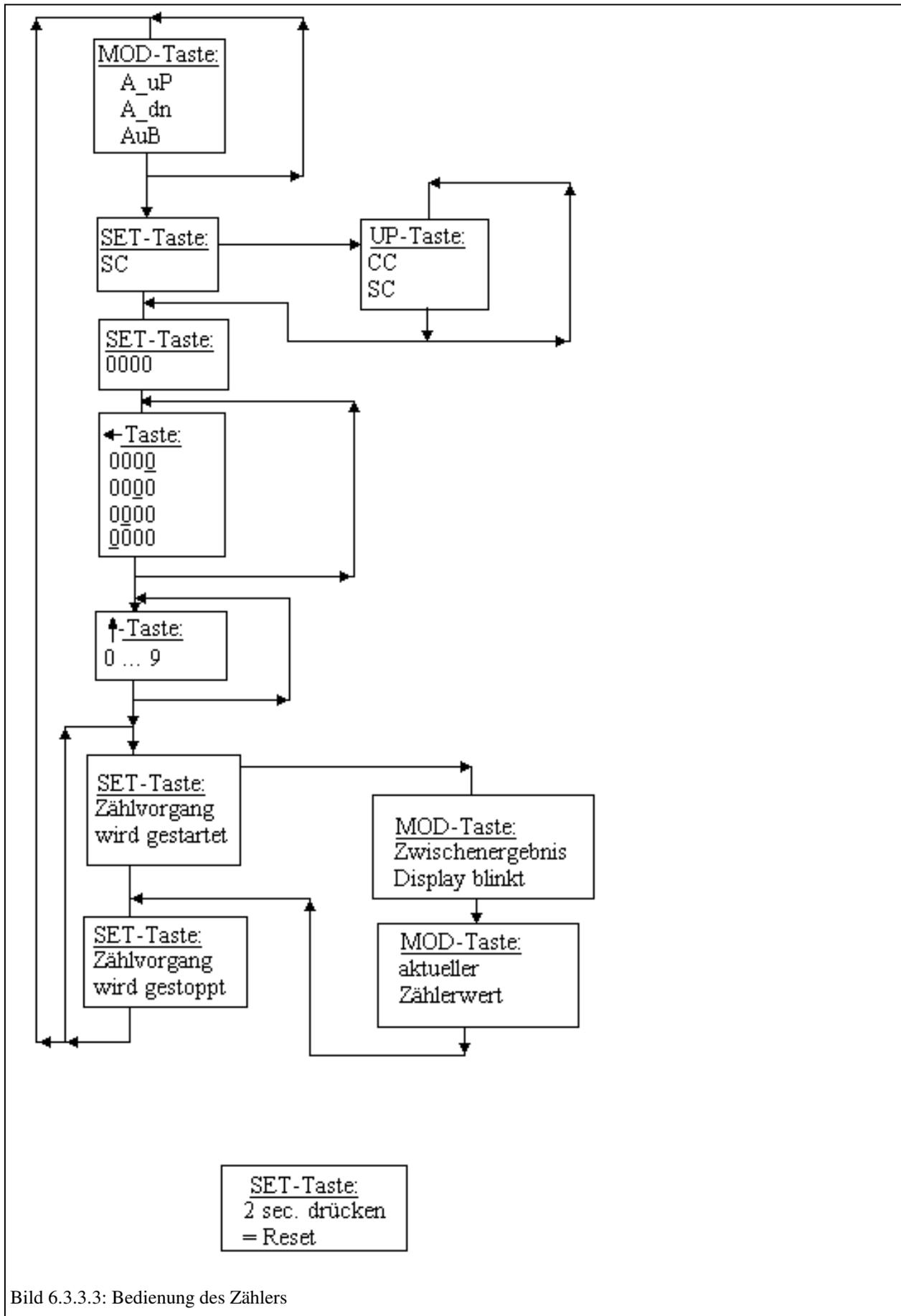


Bild 6.3.3.3: Bedienung des Zählers

Bei den Modi **A_up**, **AuB** und **A-B** beginnt der Zählvorgang immer beim Wert 0 und der Displaywert wird solange erhöht, bis der voreingestellte Endwert erreicht wird. Bei diesem Wert wird ein Signal ausgegeben (SC-Modus) bzw. es wird ein Impuls ausgegeben und der Zählvorgang beginnt wieder bei 0 (CC-Modus).

Beim Modus **A_dn** beginnt der Zählvorgang beim voreingestellten Wert und endet auf 0 (SC-Modus) bzw. wechselt die Anzeige nach Erreichen des Wertes 0 wieder auf den voreingestellten Wert (CC-Modus).

Wird während des Zählvorgangs die MOD-Taste gedrückt, zeigt das Display das derzeitige Zwischenergebnis an. Die Impulse an den Eingängen "In A" und "In B" (je nach Modus) werden im "Hintergrund" weitergezählt. Um den angezeigten Wert als **Zwischenergebnis** zu kennzeichnen, blinkt das gesamte Display.

Durch nochmaliges Drücken der MOD-Taste gelangt man wieder zur **aktuellen Zählwert** Anzeige. Das Display blinkt nicht mehr.

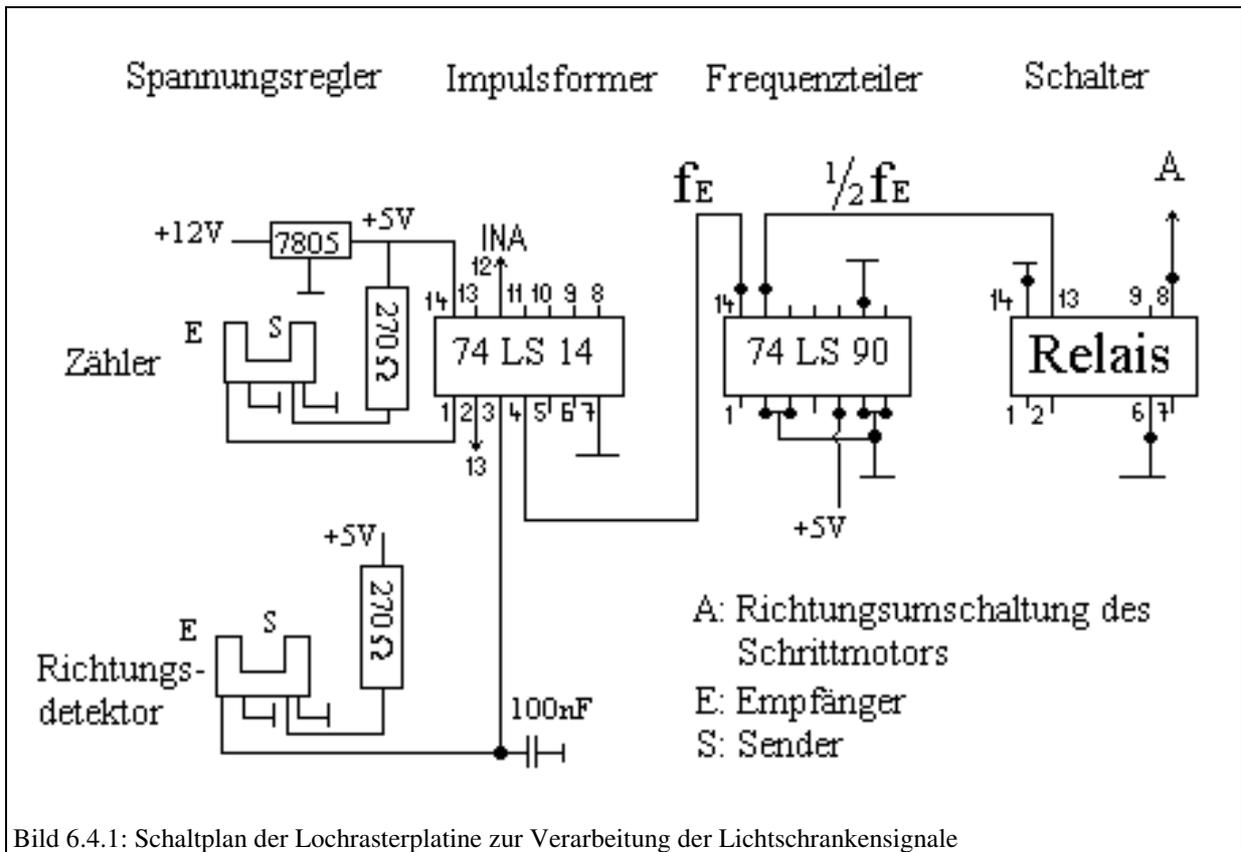
Der Zählvorgang kann durch die SET-Taste angehalten bzw. **gestoppt** werden. An den Eingängen "In A" und "In B" werden keine Impulse mehr registriert.

Wird die SET-Taste länger als 2 Sekunden gedrückt, wird die Anzeige auf 0000 zurückgestellt (**RESET**).

Technische Daten :

Betriebsspannung :	9-15 V DC oder 9 V AC
Stromaufnahme :	50 mA
Maximale Zählfrequenz :	5 kHz
Zählbereich :	0 - 9999
Maximaler Schaltstrom des Relais :	1 A
Abmessungen :	99 x 67 mm

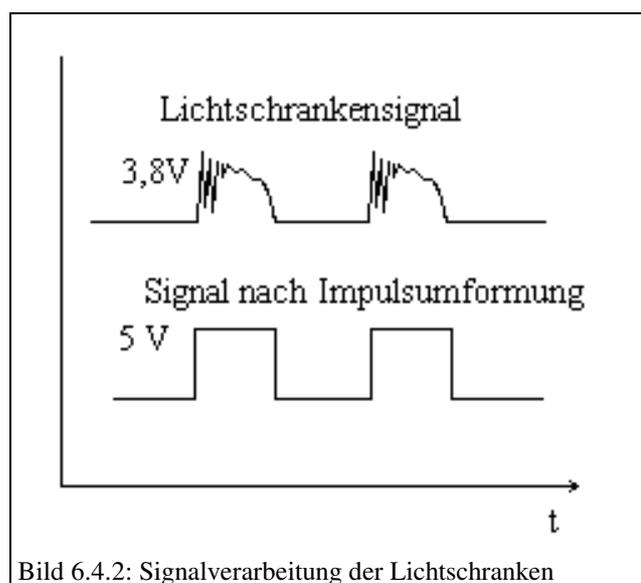
6.4 Impulsaufnahme



Damit die Signale, die von den Lichtschranken kommen, auch genutzt werden können, müssen diese erst zu einem „sauberen“ Signal verarbeitet werden. Die Signale, die direkt von der Lichtschranke geliefert werden, sind zum Schalten des Relais nicht zu gebrauchen, da sie nur

eine Spannung von $\approx 3,8$ V haben. Außerdem handelt es sich nicht um rechteckige Impulse, sondern um Kurven mit zahlreichen Einbrüchen und Zacken. Der Impulsformer macht aus diesem Signal einen rechteckigen Impuls von genau 5V.

Während bei dem Signal, welches vom Zähler kommt, keine Probleme auftraten, gab es beim Richtungsdetektor viele Störimpulse. Diese Störimpulse bewirkten, daß das Relais öfter als einmal an der Fenster-



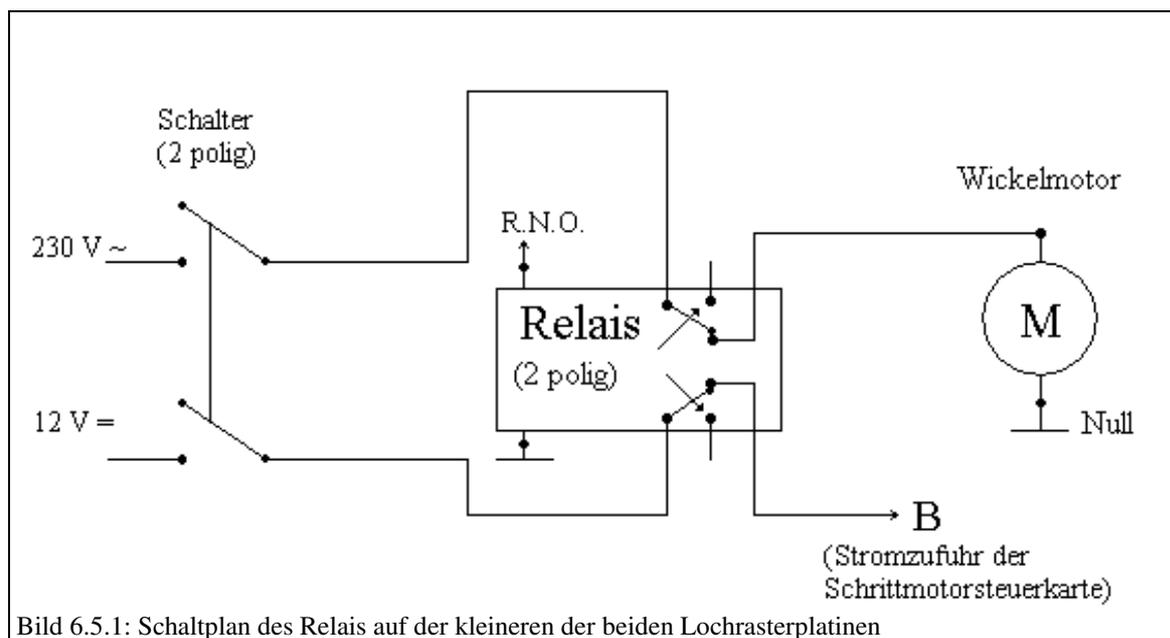
kante schaltete. Der Impulsformer formte jede Spitze des Eingangssignals zu einem Schaltim-

puls. Die Störspitzen filtert nun ein Kondensator von 100 nF heraus. Zu erklären sind diese Störspitzen mit der sehr langsamen und „ruckhaften“ Bewegung des Verstellwagens. So schwankt die Spannung des Signals ständig.

Ein Frequenzteiler IC-Baustein sorgt nun dafür, daß der Befehl der Richtungsänderung nicht nur gegeben wird, sondern auch beibehalten wird, bis wieder ein Befehl zur Richtungsänderung eingeht. Sonst würde das Relais sofort wieder Zurückschalten, und der Wagen würde letztendlich an der Umschaltposition hängenbleiben.

Damit sowohl die Lichtschranken, als auch das Relais mit der nötigen Spannung versorgt werden können, wird der ganzen Schaltung ein Spannungsregler vorgeschaltet, der die angebotene +12V Spannung Gleichstrom in +5 V Gleichstrom umwandelt.

6.5 Endabschaltung



Bei Erreichen der eingestellten Wicklungszahl muß sowohl der Wickelmotor als auch der Schrittmotor zum Stehen kommen. Dazu wird vom Zähler ein Signal von +12 V ausgegeben. Dieses Signal wird nun verwendet, um damit ein zweipoliges Relais zu schalten, das die Stromzufuhr zum Wickelmotor und zur Schrittmotorsteuerkarte unterbricht.

Der zweipolige „START“ - Schalter kann jederzeit den Wickelvorgang unterbrechen, indem er sowohl die Spannungsversorgung zum Wickelmotor (230 V - Wechselstrom), als auch zur

Schrittmotorsteuerung (12V - Gleichstrom) unterbricht. Dabei wird die Stromversorgung zum Zähler aber nicht unterbrochen, das heißt die Information über die schon erreichte Wicklungszahl bleibt erhalten.

6.6 Anpassung der Elektronik

Damit alle Teile der Elektronik miteinander arbeiten, müssen sie verdrahtet und verschraubt werden.

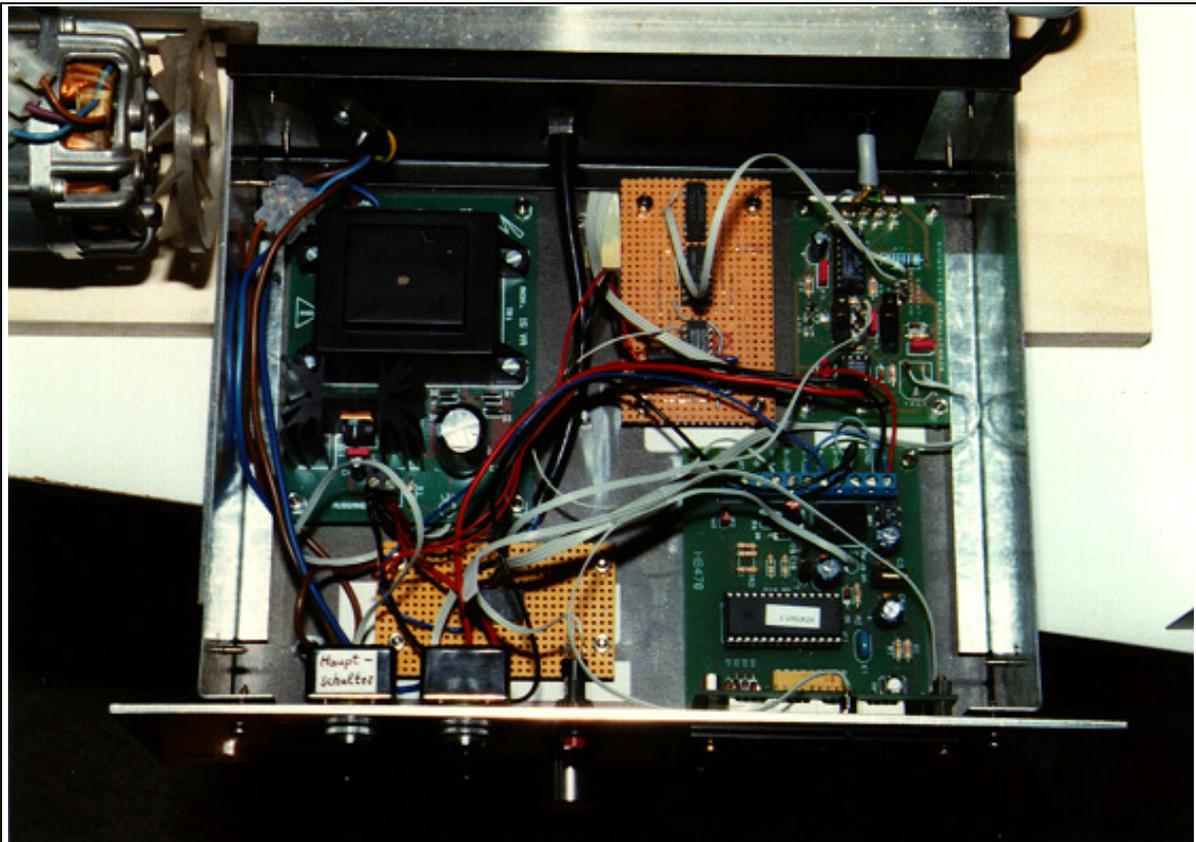


Bild 6.6.1: Steuerung fertig verdrahtet

Einige Teile wurden noch von der Platinenoberfläche nach außen verlegt. Das waren im einzelnen :

- POWER-LED
- READY-LED
- RESET-SCHALTER
- POTENTIOMETER zur Drehzahleinstellung des Schrittmotors

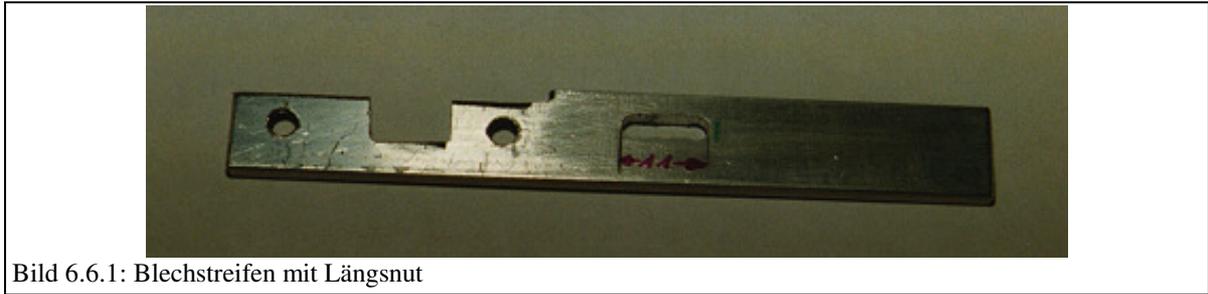


Bild 6.6.1: Blechstreifen mit Längsnut

Die Justierung und Einstellung der Teile, die zur Schrittmotorsteuerung dienten, war besonders aufwendig. Um die am besten geeigneten Blechstärken und Justierungsmöglichkeiten her-

auszufinden wurden mehrere Möglichkeiten realisiert und getestet. Da es sich um einfache Blech- und Aluminiumteile handelt, hielt sich der Fertigungsaufwand in Grenzen. Das Ergebnis

dieser Untersuchung war ein einfacher Blechstreifen aus 1 mm Stahlblech mit graden Abschlußkanten. Runde Kanten lassen sich nicht genau justieren, da man den Zeitpunkt des Schaltens der Lichtschranke nicht genau vorhersagen kann. Auch die Verwendung einer Nut war nicht von Vorteil. Zum einen kann der Verfahrensweg so nicht verändert werden, ohne daß man die Nut auffräßt oder aufschleift, zum anderen ist sogar ein fehlerhaftes Schalten möglich, da sich mit einer Bewegung der länglich begrenzenden Blechkanten ebenfalls das Lichtfeld beeinflussen läßt. Bei der Justierung muß sorgsam darauf geachtet werden, daß das Blech beim Verfahren nicht die Lichtschranke berührt. Ein Verkratzen der feinen Glasoberflächen könnte ein fehlerhaftes Schalten verursachen.

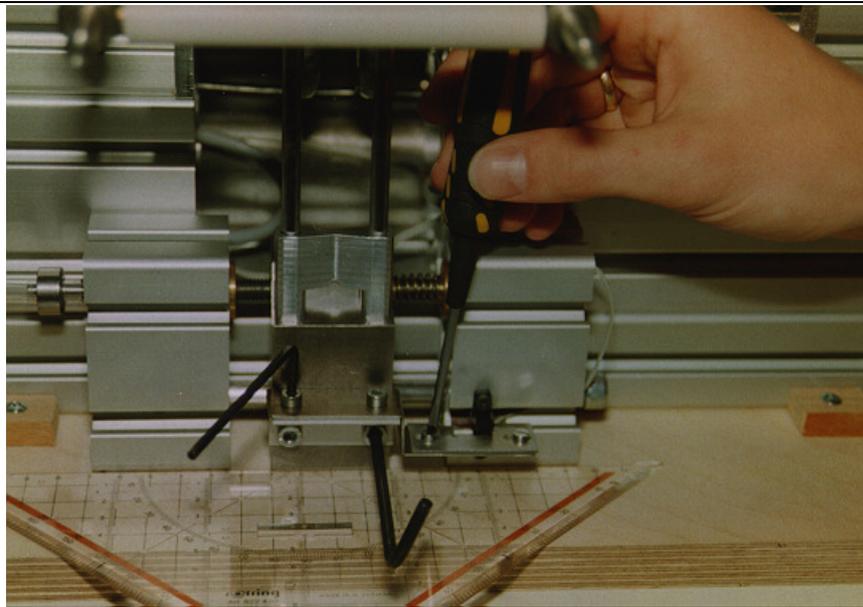


Bild 6.6.2: Justierung der Bleche zur Ansteuerung der Lichtschanke

Um die Lichtschranke, die zum Zählen der Wicklungen dient, zu montieren, muß diese von

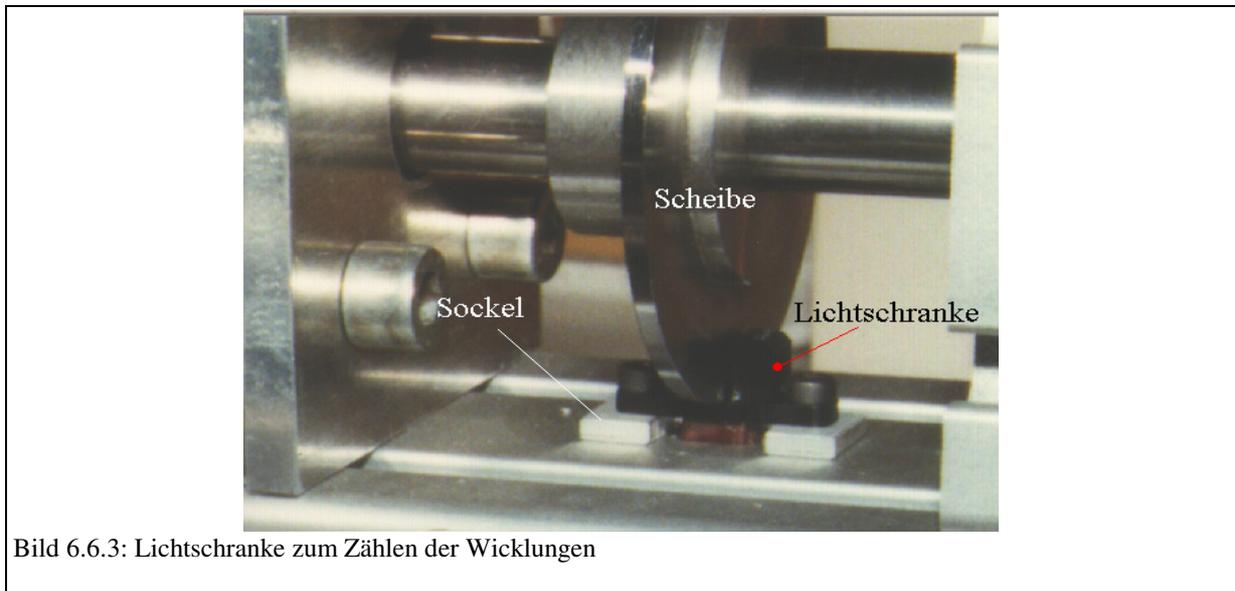


Bild 6.6.3: Lichtschranke zum Zählen der Wicklungen

oben in das für sie gedachte Loch eingelassen werden. Um nun nicht die gesamte Antriebswelle zu demontieren, wurde in die Scheibe nicht wie vorher gedacht ein Loch gebohrt, sondern eine Nut von außen gefräst, so daß die Lichtschranke in gekipptem Zustand gerade unter ihr Montageloch geführt werden kann. Mit einem gleichzeitigen Drehen der Welle und Kippen der Lichtschranke kann sie nun an ihre Position gebracht werden. Vor dem endgültigen Festschrauben mit zwei Schrauben (M3 x 12) wird unter die Lichtschranke nun noch ein Sockel von 2 mm Blechstärke gebracht, damit das Feld der Lichtschranke vollkommen abgedeckt werden kann.

7 Durchführung von Wickelversuchen

Nach dem Zusammenbau der Anlage wurden ungefähr 50 Wickelversuche durchgeführt. Die ersten wurden meist gleich wieder demontiert, da sie kein befriedigendes Ergebnis lieferten. Ob eine Wicklung in sich fest ist, sieht man schon an ihrer Oberfläche. Ist die Oberfläche gleichmäßig, glänzt sie wie eine einzige Fläche. Ein loser Draht fällt sofort auf, nicht nur wenn er auf der letzten Lage liegt. Die Oberfläche der oberen Lagen passen sich genau jeder Unebenheit an und ein loser Draht zeichnet sich dann gut sichtbar ab. Die Messung des Gleichstromwiderstands und die Information über die Wicklungszahl, sowie der Drahtstärke sind deshalb nicht die einzigen Qualitätsmerkmale der Spulen. In Bild 5.1.2.2 sieht man eine Spule mit 8000 Windungen und einem Gleichstromwiderstand von 9,5 k Ω . Man erkennt leicht die gleichmäßige glänzende Oberfläche, wenn auch speziell bei dieser Spule die Grenzen etwas fehlerhaft eingestellt waren.

Die Wickelversuche liefen bis auf Ausnahmen ausgezeichnet. Während der gesamten Wickelzeit, die immerhin über 2 ½ Stunden andauern kann, lief die Anlage in jeder Hinsicht stabil. In keinem der Wickelversuche riß der Draht nach einer Anlaufphase (ca. 60 sec). Die Einstellbarkeit der Grenzen (Spulenhöhe) hat sich als vollkommen ausreichend erwiesen, vor allem da auch eine Korrektur bei laufender Wicklung noch möglich ist.

7.1 Die Bedienung der Maschine

Einlegen des Spulenkörpers:

- Dazu wird zunächst die Feststellschraube gelöst, die die Achse festklemmen kann.
- Dann wird diese Achse bis zum Anschlag herausgezogen.
- Nun kann der Spulenkörper eingesetzt werden. Dabei müssen die Spulendeckel in den Vertiefungen sitzen. Da sich der Spulenkörper durch seine Magnethaltkraft selbst fixiert, kann er nicht nach unten durchfallen.

Einfädeln des Kupferlackdrahtes:

- Draht unter dem Spannungsgewicht zwischen die beide Teller legen.
- Mit einem Magnet Draht außerhalb des Wickelbereichs und zwar auf der Rückseite eines Tellers befestigen

Einstellen der Wickelgeschwindigkeit :

- Antriebsriemen in Rille 1 bis 4 legen. In den Wickelversuchen wurden ausschließlich die Rillen 1 und 2 (zur Montageplatte hin) verwendet.
- Mit der Spannrolle kann dann nach dem Lösen der Rändelschrauben die Riemenspannung eingestellt werden.

Einstellen des Vorschubs für die Drahtführung :

- an Knopf (5= Drehpoti) stufenlos einstellen.

Einstellung der Grenzen:

- Einstellblech demontieren. Beim Ausbau muß allerdings darauf geachtet werden, daß die Lichtschranken nicht beschädigt werden.

Spulenhöhe einstellen :

- mit beiden Blechkanten eine Lehre einschließen (Wenn die Spule z.B. 11 mm hoch ist, so muß das Fenster ebenfalls 11 mm hoch sein).

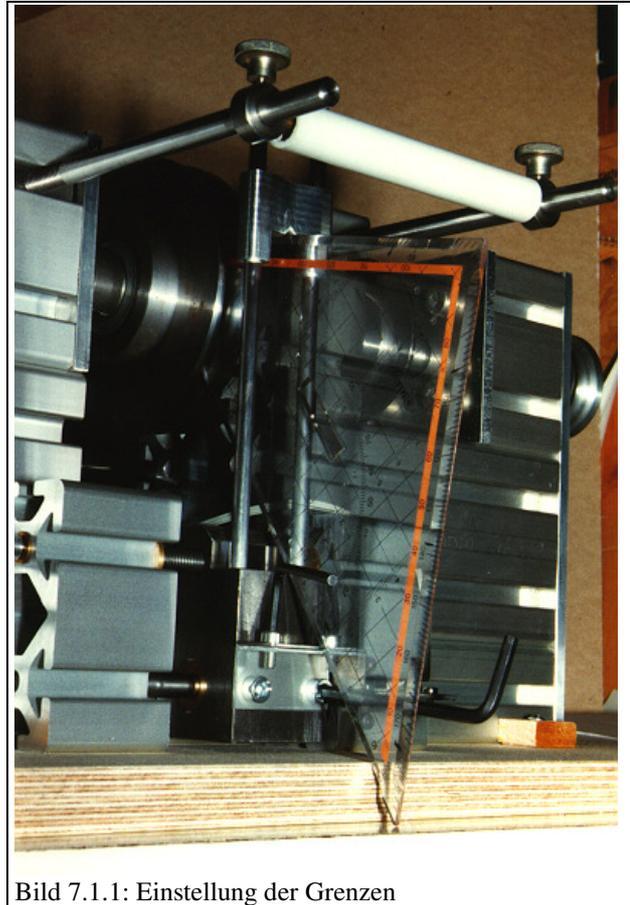


Bild 7.1.1: Einstellung der Grenzen

Einstellen der Grenzen :

- Den Wagen in eine Endlage fahren
- Ein dünnes Blech oder ein Geodreieck in beide Teller einspannen.
- Den Wagen soweit fahren, bis die Kerbe des Spanngewichts in dem Blech (oder in dem Geodreieck) sitzt.
- Nun das Blech zum Einstellen der Lichtschranke so justieren, daß es genau in der Mitte der Lichtschranke ist. Hier kann man zur Hilfe auch eine Markierung anbringen.

Eine einfachere Methode ist, das Blech nur lose einzustellen und dann während des Betriebs die Einstellung durchzuführen. Dabei darf der Draht beim Wickelvorgang die Teller nur grade berühren und der Schrittmotor muß sofort seine Richtung wechseln. Dies ist sicher die schnellere und genauere Methode, die vor allem zum Nachjustieren geeignet ist. Aus diesem Grund wurde die erste Methode nur zur Voreinstellung verwendet.

Eingeben der Wicklungszahl:

- Nun kann die Anlage eingeschaltet werden indem man den Hauptschalter (1) nach unten (ON) schaltet. Das Display des Zählers macht nun erst einen Selbsttest, dann erscheint das Wort „PUSH“ .
- Dann Taste (8) drücken. Es erscheint auf dem Display : „GoOn“
- Nach einigen Sekunden erscheint dann die Anzeige „A_uP“ (Das heißt, der Zähler zählt von 0 bis zu dem eingestellten Wert). Möchte man, daß der Zähler nicht aufwärts, sondern abwärts zählt, so betätigt man an dieser Stelle Taste (7).
- Nach nochmaligem drücken der Taste (8) erscheint die Anzeige „SC“ (Single Count).
- Nach nochmaligem drücken der Taste (8) erscheint dann die Anzeige „0000“, wobei die erste „0“ blinkt.
- Mit der Taste (10) kann man die einzelnen Ziffern jetzt einstellen, dabei mit der Taste (9) die Stellen anwählen.
- Ist der richtige Wert eingestellt, so betätigt man wieder Taste (8). Nun zeigt die Anzeige wieder „0000“. Soll der Zähler abwärts zählen, so steht auf der Anzeige der eingestellte Wert.

Starten des Wickelvorgangs :

- Schalter (2) nach unten auf „START“ stellen. Wenn der Zähler nun aufwärts zählt, leuchtet die obere LED von (6). Bei Erreichen der eingestellten Wicklungszahl stoppt der Motor und der Schrittmotor. Das Relais hat dann geschaltet und die LED (11) leuchtet auf. Der eigentliche Wickelvorgang ist nun beendet.

Entnahme der Spulen :

- Den Magneten entfernen, der das Ende des Drahtes festhält.

- Kupferlackdraht an einer günstigen Stelle zwischen Wickelbank und Abwickeleinheit zerreißen.
- Lösen der Feststellschraube.
- Achse zurückziehen. Die Spule hängt nun an einem der beiden Teller und hält nur durch seine eigene Magnetkraft.
- Nun die Spule vorsichtig entnehmen, ohne dabei die kupferfarbene Oberfläche zu berühren.

7.2 Realisation

Zum größten Teil gab es bei der Fertigung kaum Probleme. Alle Toleranzen wurden eingehalten, in einigen Fällen sogar weit übertroffen. Die sehr genaue Fertigung einer Gleitbuchse ersparte die Anschaffung einer weiteren teureren Linearführung.

Die Schnittkanten der Profile des Baukastensystems sind sauber und die Ränder fein entgratet. Eine Nachbearbeitung war nicht erforderlich.

Die Bohrungen für die Gleitstangen im Laufbock waren in ihrem Abstand zueinander zu ungenau. Auch die parallele Lage zueinander war nicht ausreichend, so daß das Spanngewicht ohne Nachbearbeitung locker gleiten könnte. Immerhin war aber ein Gleiten im oberen Drittel der Gleitstangen auch schon ohne Nachbearbeitung möglich. Die Nachbearbeitung durch Aufschleifen eines Loches bewirkte dann eine völlig problemlose Funktion dieser Teile. Die 45°-Fase am Gleitbock (Zeichnungs Nr. 3) wurde vorsichtshalber etwas abgerundet, um ein eventuelles Berühren mit dem empfindlichen Kupferlackdraht zu entschärfen. Das Spanngewicht mußte noch eine sehr genaue Einkerbung zwischen den beiden Bohrungen erhalten. Dies mußte auf einer speziellen Vorrichtung gemacht werden, da die geforderte Genauigkeit im Bereich von max 0,06 mm bestand. Mit einer speziellen Schleifvorrichtung wurde ein Radius von zunächst 2 mm eingeschliffen. Danach wurden die Einführtrichter eingearbeitet.

7.2.1 Oberflächenbearbeitung

Einige Oberflächen mußten in einer Nachbehandlung noch geschliffen werden. Dazu gehören alle Teile, die den Draht unmittelbar berühren können. Das sind :

- Das Spanngewicht
- Das Hauptrad zur Aufnahme des Spulenkörpers auf der Antriebsseite
- Das Hilfsrad
- Der Gleitbock

Anschließend erhielten diese Flächen noch eine Politur. Die Führungsstange für den Gleitbock, sowie die Gleitstangen für das Spanngewicht wurden ebenfalls poliert um Reibungseinflüsse zu vermindern.

Zum Korrosionsschutz wurden für die Oberflächen keine Maßnahmen getroffen, da die meisten Teile aus Aluminium sind und die Maschine ohnehin nicht in feuchter Umgebung stehen sollte.

7.2.2 Umlenkradien

Wie auch schon bei den Vorversuchen, wurden für die verwendeten Drahtdurchmesser verschiedene Umlenkradien erprobt. So ist ein Umlenkradius unter 5 mm für Umlenkrollen nicht zu verwenden, da sonst die Vorformung des Drahtes zu groß ist. Das kann sich auf der Spule mit in Schlaufen liegenden Drähten auswirken. Dies gilt für eine Umlenkung um einen Winkel von 180°.

Soll der Draht nicht durch eine Rolle, sondern durch einen fest stehenden Radius umgelenkt werden, so wird der Draht bei einer Umlenkung um 180° mit einem Umlenkradius von mindestens 20 mm geführt. Die Gründe für den unterschiedlichen Radius liegen an den größeren Reibungskräften. Bei einer Wahl von kleineren Radien ist es möglich, daß die Oberfläche des Drahtes beschädigt wird, da der Druck auf eine kleinere Fläche verteilt wird. Die Spule kann dann Kurzschlüsse aufweisen. Wenn möglich, sollte immer eine Umlenkrolle gewählt werden. Grundsätzlich funktionieren aber beide Umlenkmethode.

7.3 Probleme

7.3.1 Signalverarbeitung

Probleme tauchten besonders in der Steuerung auf. Die lineare Verstellung des Verstellwagens war sowohl von der Ansteuerung als auch von der Einstellung her am problematischsten. Der Wagen blieb bei ersten Tests meistens an seinem Umkehrpunkt hängen oder fuhr über diesen Punkt hinaus. Zunächst wurde die Ursache an der Impulsaufnahme selbst vermutet. Da diese aber vollkommen fehlerfrei arbeitet, mußte die Ursache an einer anderen Stelle gesucht werden. Es gibt auch keine nennenswerten Störungen von außen auf Grund von Lichteinfällen, denn der Einsatz einer Nut, die das Feld der Lichtschranke gegen Störeinflüsse besser abschirmt (Bild 6.6.1) anstatt eines Fensters, brachte keine Veränderung dieses Effekts. Erst der Einsatz eines Kondensators brachte den Erfolg. Dieser Kondensator filtert nun die Störimpulse heraus und bewirkt, daß dem Frequenzteiler ein sauberes und eindeutiges Signal zugeführt werden kann (siehe dazu Bild 6.4.2).

7.3.2 Temperatureinflüsse

Ein weiteres Problem in der Steuerung war die Wärmeentwicklung im Gehäuse. Während die Wärme des Schrittmotors und des Antriebsmotors sich nicht stauen kann, konnte die Luft im Gehäuse der Elektronik nicht zirkulieren. Die Temperatur im Gehäuse stieg nach einem 30 Minuten dauernden Betrieb auf $39,8^{\circ}\text{C}$. Da aber die IC-Bausteine und auch der Netztrafo keinen Temperaturen über 40°C ausgesetzt werden sollten, mußte die Wärme abgeführt werden.

In den Gehäusedeckel wurde zunächst eine Öffnung von 100×80 mm eingearbeitet, die aus Sicherheitsgründen mit einem luftdurchlässigen Lamellenblech abgedeckt wurde. Nun stieg die Temperatur nicht mehr so schnell an. Nach ca. 60 Minuten Betrieb erreichte die Temperatur aber immer noch 38°C . Nun wurde noch

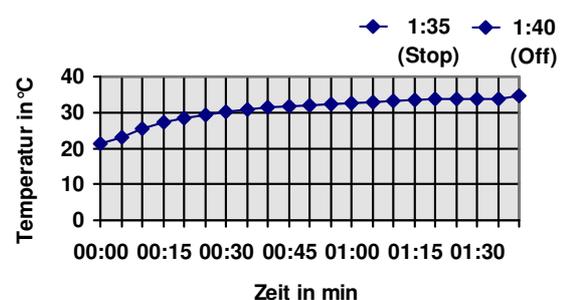


Bild 7.3.1: Temperaturanstieg im Gehäuse

ein Lüftungsschlitz in das Gehäuse eingearbeitet. Dieser befindet sich genau hinter dem Ventilator des Wickelmotors (Abstand 9 mm, siehe auch Bild 5.3.1.1), der die Luft nun genau in das Gehäuse einbläst. Nun stiegen die Temperaturen nicht mehr über 35° C (Bei Zimmertemperatur von 21 °C).

Problematisch ist dabei noch der Temperaturanstieg nach Abschalten des Geräts (siehe im Diagramm Bild 7.3.1 bei Punkt (Stop)). Da die Temperatur aber auch hier nicht über 35 °C steigt, braucht man nicht nachträglich zu kühlen. Bei sehr langem Zeitraum bleibt dieser Punkt aber kritisch. Die Maschine sollte daher besser innerhalb einer halben Stunde nach dem Wickelvorgang abgeschaltet oder wieder in Betrieb genommen werden.

7.3.2 Synchronisation der Geschwindigkeiten

Da die Drehzahl des Schrittmotors stufenlos einstellbar ist, ist es ohne Skala schwierig eine Aussage über den Vorschub zu machen. Deshalb mußten die Vorschubgeschwindigkeiten bei den verschiedenen Einstellungen zunächst ermittelt werden. Bei Ersetzen des Trimpotentiometers von 500 kΩ durch ein Potentiometer von 470 kΩ mußte darauf geachtet werden, daß die so voreingestellte Taktrate bei vollkommen geschlossenem Potentiometer dem Mindestvorschub von 0,06 mm entsprach. Aus diesem Grunde sollte zunächst noch ein Widerstand (30 kΩ) vor den Timerbaustein auf der Schrittmotorsteuerkarte geschaltet werden. Auf diese Weise kann die Taktrate in einen anderen Bereich geschoben werden. Eventuell mußte auch ein anderer Widerstand eingelötet werden.

In der folgenden Tabelle sind einige Einstellmöglichkeiten aufgelistet, um Spulen möglichst dicht zu wickeln. Der Vorschub bei einer Umdrehung entspricht dabei dem zu verwendenden Drahtdurchmesser:

Tabelle 6: Einstellmöglichkeiten zum Wickeln von Spulen mit maximaler Dichte

Potistellung	Rille	Vorschubgeschwindigkeit des Verstellwagens	Drehzahl	Vorschub bei einer Umdrehung	ØDraht (Außen)
geschlossen	1	0,081 ₆ mm/sec	1,33 ₄ U/sec	0,061 ₁ mm	0,06 mm
geschlossen	2	0,081 ₆ mm/sec	1,15 U/sec	0,07 ₁ mm	0,07 mm
¼ auf	2	0.113 ₃ mm/sec	1,15 U/sec	0,084 mm	0,08 mm
geschlossen	3	0,081 ₆ mm/sec	0.91 ₆ U/sec	0,89 mm	0,08 mm

Diese Werte wurden ohne Einbau eines zusätzlichen Widerstands erreicht, so daß im Endeffekt der Vorwiderstand nicht verändert werden mußte. Ein Drehen am Potentiometer hat nun eine Vergrößerung des Abstandes zwischen den Drähten zur Folge.

Erläuterung zu den letzten 2 Zeilen der Tabelle :

Rille 3 liefert eine Drehzahl von $0,91_6$ U/sec.

Das heißt eine Umdrehung dauert genau $1,09_1$ Sekunden. Der resultierende Drahtvorschub beträgt nun $0,89$ mm. Dieser Vorschub entspricht dem Drahtdurchmesser von $0,08$ mm **nicht**. Daher ist diese Rille für diesen Drahtdurchmesser zwar zu verwenden, jedoch ist es nicht möglich, den Draht so abzuliegen, daß er genau nebeneinander liegt (siehe dazu Bild 1.2). Da aber dieser Draht zu

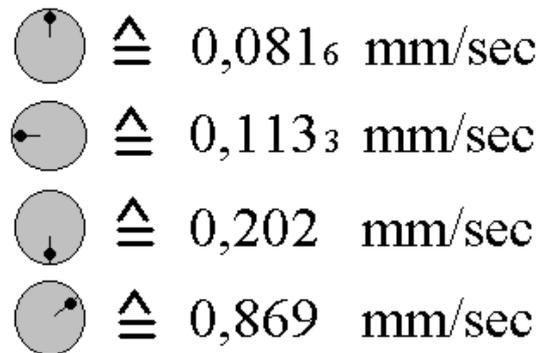


Bild 7.3.2: Vorschubgeschwindigkeiten bei verschiedenen Poti-Stellungen

den seltener verwendeten Drähten gehört, wurde dafür an der Elektronik nichts verändert. Außerdem ist es möglich z.B. in Rille 2 einen anderen Vorschub einzustellen. Bei einer $\frac{1}{4}$ Umdrehung des Potentiometers macht der Verstellwagen einen Vorschub von $0,113_3$ mm. Das ergibt pro Umdrehung auf Rille 2 eine Strecke von $0,084$ mm.

7.3.4 Einstellung der Bremse

Ein weiteres Problem war die Einstellung der Bremse an der Abwickereinheit. Diese Bremse (siehe dazu Bild 4.1.1) besteht aus einem einfachen Federblech, das nun so gebogen werden muß, daß es die Trommel gerade eben abbremst. Dabei soll die Trommel aber nicht sofort stehen bleiben, wenn die Drehzahl abnimmt. Dieses Einstellen erfordert etwas „Fingerspitzengefühl“. Besser wäre es sicherlich, diese Bremse einstellbar auszuführen. Da die Einstellung aber nie wieder verändert wird, ist es natürlich möglich, an dieser Stelle die Kosten für eine solche Einstellung einzusparen.

7.3.5 Verschmutzung

Da die Gleitstangen nicht abgedeckt werden können, sind sie sehr anfällig gegen Verschmutzung. Außerdem sind sie nicht rostfrei. Deshalb ist das Aufstellen der Maschine in einem besonders staubigen oder/und feuchten Raum nicht zu empfehlen. Besser wäre es, sie aus rostfreiem Material herzustellen und die gesamte Maschine mit einem Deckel auszurüsten.

Zwar arbeiten die Lichtschranken verschleißfrei, Staub und Schmutz könnten sie jedoch in der Funktion beeinflussen.

7.3.6 Demontierbarkeit

Obwohl die Item-Profile sehr flexibel sind, ist die Demontage der Antriebswelle trotzdem etwas schwierig, weil zur Demontage auch die Montageplatte (10 Schrauben) gelöst werden muß (das Festlager befindet sich in dem Lagerprofilstück, welches an die Montageplatte angeflanscht ist). Erschwert wird dieser Vorgang auch deshalb noch, weil die Schrauben der Verbindungselemente nur schwer zu erreichen sind. Zur Demontage wäre es in so fern günstiger, wenn die Montageplatte nicht aus einem Stück bestehen würde, so daß der Deckel für das Festlager einzeln abzunehmen wäre.

8 Erprobung hergestellter Spulen

Die auf der Wickelbank hergestellten Spulen wurden alle auf ihren Widerstand hin überprüft und in einer Testgitarre getestet. Der Klang einiger Spulen wurde von einigen Musikern in Fragebögen beurteilt. Grundsätzlich kann man sagen, daß an dem Klang noch zu arbeiten ist, die Qualität der Tonabnehmer wird aber von allen Musikern als gut bis sehr gut beurteilt.

8.1 Konstruktion und Bau einer Testgitarre



Bild 8.1.1: Testgitarre

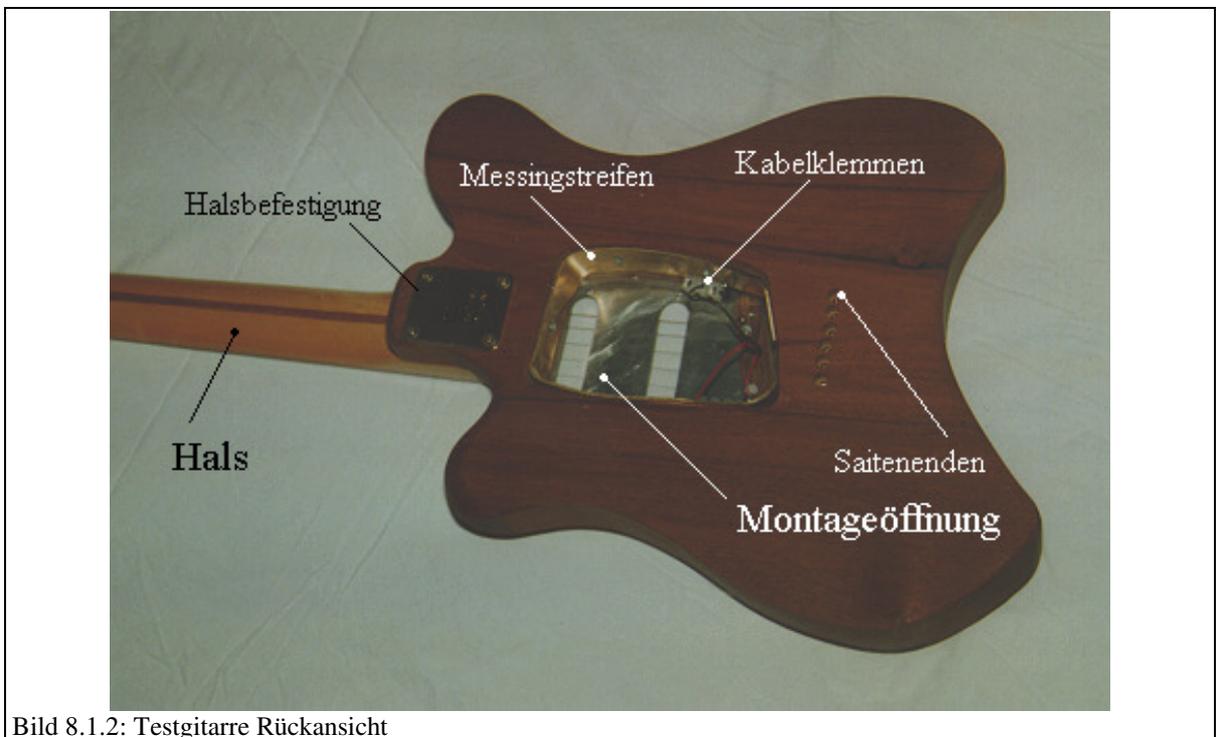


Bild 8.1.2: Testgitarre Rückansicht

Zum Testen der Tonabnehmer mußte ein Instrument konstruiert werden, in welches die Spulen sehr schnell einzubauen sind. Die Anschlüsse sollte man nicht anlöten müssen. Da sich die

Tonabnehmer immer unter den Saiten befinden, müssen normalerweise die Saiten abgenommen werden, um die „Pickups“ auszubauen. Dies ist im Normalfall auch nicht weiter tragisch, da die Tonabnehmer nicht oft gewechselt werden. In diesem Fall soll aber der Einbau möglichst schnell geschehen, um den Tonabnehmer in seinem Klang möglichst gut in Erinnerung zu behalten. Nur so ist ein Vergleich möglich. Daher sollten die Pickups nach dem Vorbild einer Testgitarre der Firma „Di Marzio“ von hinten in die Gitarre montiert werden, was darauf hinausläuft, daß eine Öffnung eingearbeitet werden muß. Weiterhin sollten die drei Tonabnehmer mit einander zu verschalten sein. Dabei braucht der mittlere Tonabnehmer nicht einzeln gehört zu werden. Die mittlere Position ist nicht von Interesse. Der Tonabnehmer wird meistens nur zur Kombination mit den anderen Tonabnehmern gebraucht.

Um dem Instrument trotz der Schwächung durch die große Aussparung genügend Stabilität zu verleihen, wurde ein 2 mm starker Messingstreifen eingesetzt. Die Saitenlängen wurden mit einer Brücke mit einzeln verstellbaren Saitenreitern einstellbar gemacht. Brücke - also auch die Saiten - und der Messingstreifen wurden mit Massekontakt versehen.

8.2 Mikrofonie der Spulen

Gute Tonabnehmer zeichnen sich unter anderem durch eine geringe Mikrofonie aus. Deshalb wurden auch die hergestellten Spulen auf ihre Mikrofonie hin überprüft.

Beschreibung der Prüfung:

Beim Anschluß an den Verstärker wird der Lautstärkeregler bis zu dem Punkt aufgedreht, bis eine Rückkopplung entsteht. Eine Rückkopplung macht sich in diesem Fall durch ein hohes Pfeifen bemerkbar. Locker gewickelte Tonabnehmer erreichen sehr schnell diesen Punkt, weshalb sie oft noch verklebt oder gewachst werden. Allerdings verändert sich auch der Klang bei dieser Maßnahme. Es fiel auf, daß sauber gewickelte Spulen eine geringere Mikrofonie aufwiesen. Die hergestellten Tonabnehmer wurden teilweise zusätzlich noch gewachst, was tatsächlich sowohl einen anderen Klang als auch eine Verminderung der Rückkopplungsempfindlichkeit brachte. Zum Vergleich befindet sich im Anschluß eine Übersichtstabelle mit einigen Tonabnehmern, die auf Mikrofonie hin überprüft wurden.

Mit dem folgenden Verstärker wurden die Messungen durchgeführt:

Verstärker 40 W, Bereich des Lautstärkerpotentiometers der Endstufe : 1 - 12

Vorstufe ganz aufgedreht

Tabelle 5: Mikrofonie einiger Spulen

Verstärker Einstellung	Typ	Bauart	Maßnahmen gegen Mikrofonie
9	Fender Strat	Single Coil	gewachst
9	Ibanez Super 58	Humbucker	gewachst
7	aus Vorversuchen	Singel Coil	keine
9	Eigenbau	Single Coil	keine
11	Eigenbau	Single Coil	gewachst

8.3 Beurteilung des Klanges von Musikern

Zur Klangbeurteilung wurden Musikern bzw. Gitarristen das Testinstrument mit den hergestellten Tonabnehmern zur Verfügung gestellt. In einigen Fällen wurde nach meist ausgiebigem Testen ein Fragebogen (Seite 108) ausgefüllt. Darin wurde nicht nur nach der Beurteilung der Qualität des Tonabnehmers gefragt, sondern auch nach dem Interesse der Testperson an Tonabnehmern und deren Eigenschaften.

Die Ergebnisse fielen meistens sehr gut aus, obwohl bis jetzt noch kein endgültiger Tonabnehmer entwickelt worden ist. Deshalb wurde die Qualität meist als sehr gut beurteilt, wohingegen der Klang noch nicht den gewünschten Erwartungen entsprach. Über 90 % der Musiker bescheinigten den Tonabnehmern sehr gute Noten, was die Qualität betrifft. Die Entwicklung eines neuen eigenen Tonabnehmers ist nicht mit dem Einstellen einer zufällig gewählten Wicklungszahl möglich. Es müssen daher noch viele Tonabnehmer hergestellt und getestet werden. Zusammen mit einem Gitarrenbaumeister und einigen Musikern wird zur Zeit noch an der Entwicklung gearbeitet.

Daß die Qualität der Spulen schon jetzt als so gut beurteilt wird, übertraf bereits die Erwartungen und bestätigt die Entwicklung und den Bau der Wickelmaschine in dieser Form.

Fragebogen:

1.) Was interessiert Sie am Klang eines Tonabnehmers am meisten ?

	sehr					weniger
	←			→		
	1	2	3	4	5	6
Die Ausgangsleistung	<input type="checkbox"/>					
Die Ausgewogenheit	<input type="checkbox"/>					
Der Sound	<input type="checkbox"/>					
Rückkopplungsarmut (Mikrofoniearm)	<input type="checkbox"/>					
eigener Charakter	<input type="checkbox"/>					

2.) Der von mir getestete Tonabnehmer hatte folgende Eigenschaften :

Ausgangsleistung	<input type="checkbox"/>					
Ausgewogenheit	<input type="checkbox"/>					
Sound	<input type="checkbox"/>					
Rückkopplungsarmut (Mikrofoniearm)	<input type="checkbox"/>					
eigener Charakter	<input type="checkbox"/>					

3.) Wie beurteilen Sie die Qualität des Tonabnehmers ?

	<input type="checkbox"/>					
--	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Vielen Dank !

- Axel Roßbach -

9 Zusammenfassung

Im Hinblick auf die Entwicklung, die zur Zeit auf dem Markt anhält, ist es zu erwarten, daß mehr Tonabnehmer konstruiert und gebaut werden. Durch großes Interesse in der Fachwelt und durch Anregungen eines Gitarrenbaumeisters erwuchs die Motivation eine Maschine zu entwerfen, die Tonabnehmerspulen selbständig wickeln kann.

Die Maschine, die in dieser Diplomarbeit konzipiert und realisiert wurde, sollte Spulenkörper mit Kupferlackdraht umwickeln. Da die Drahtgeschwindigkeit wegen der Form der Spulenkörper beim Aufwickeln stark schwankt, und bei dem geringen Drahtdurchmesser von 0,06 - 0,08 mm die Gefahr des Reißens besteht, mußte eine geeignete Vorspannungsregelung gefunden werden.

Es ist für Tonabnehmerspulen interessant, eine gewünschte Wicklungsdichte zu erzielen, da hierdurch das Klangverhalten verändert werden kann. Aus diesem Grund sollte der Wicklungsvorschub exakt einstellbar sein.

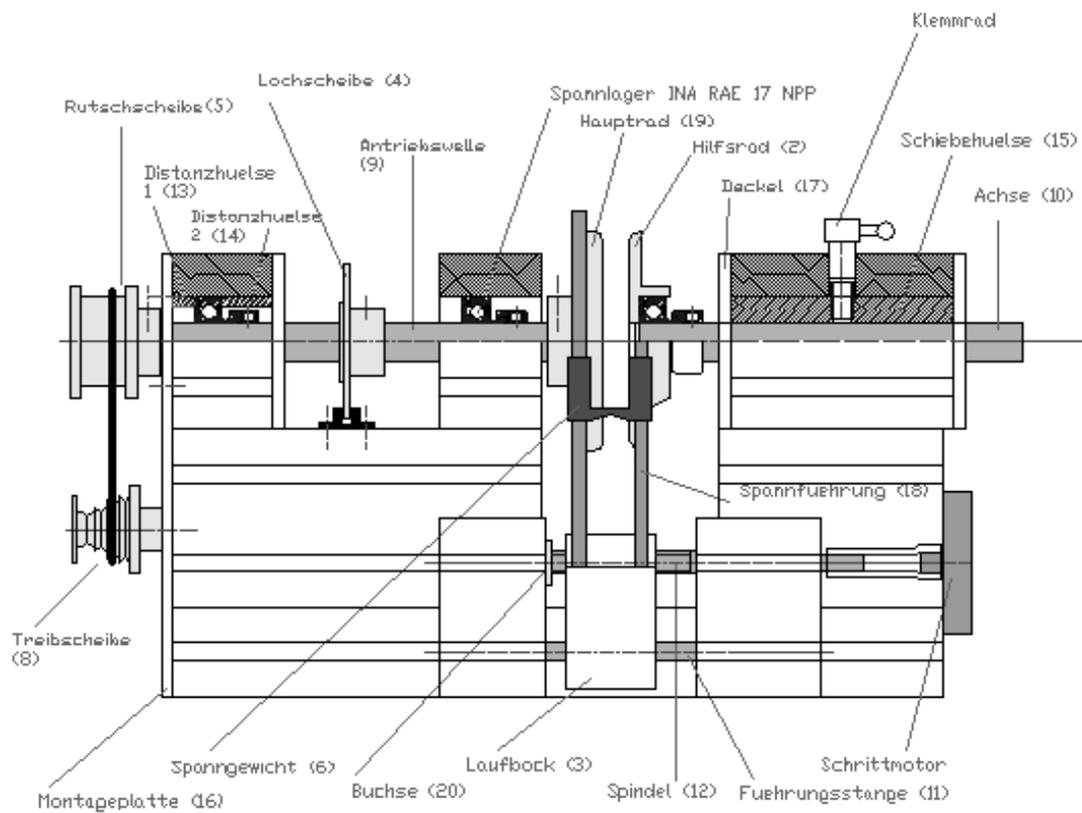
Diese Aufgaben wurden erfolgreich gelöst.

Um auch unterschiedlich hohe Spulenkörper zu wickeln, kann die Maschine entsprechend eingestellt werden. Da diese Einstellung selten nötig ist, wurde hier bei der Konstruktion kein großer Wert auf die komfortable Bedienung gelegt. Die Einstellung könnte daher in diesem Bereich noch optimiert werden.

Erste mit dieser Maschine hergestellte Spulen wurden von fachkundigen Musikern und Instrumentenbauern positiv bewertet. Ein spezieller Tonabnehmer wird in Zusammenarbeit mit einem Instrumentenhersteller zur Zeit entwickelt.

11 Einzelteilzeichnungen

Übersicht der Einzelteile:



Geschwindigkeit des Drahtes

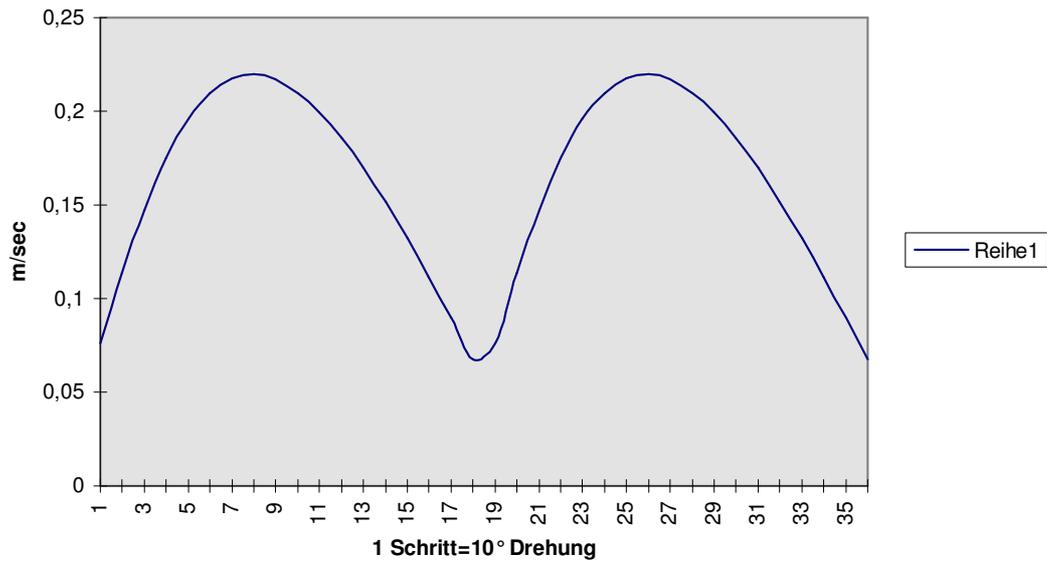


Bild: Geschwindigkeit des Kupferlackdrahtes während einer 360° Drehung

Beschleunigung des Drahtes

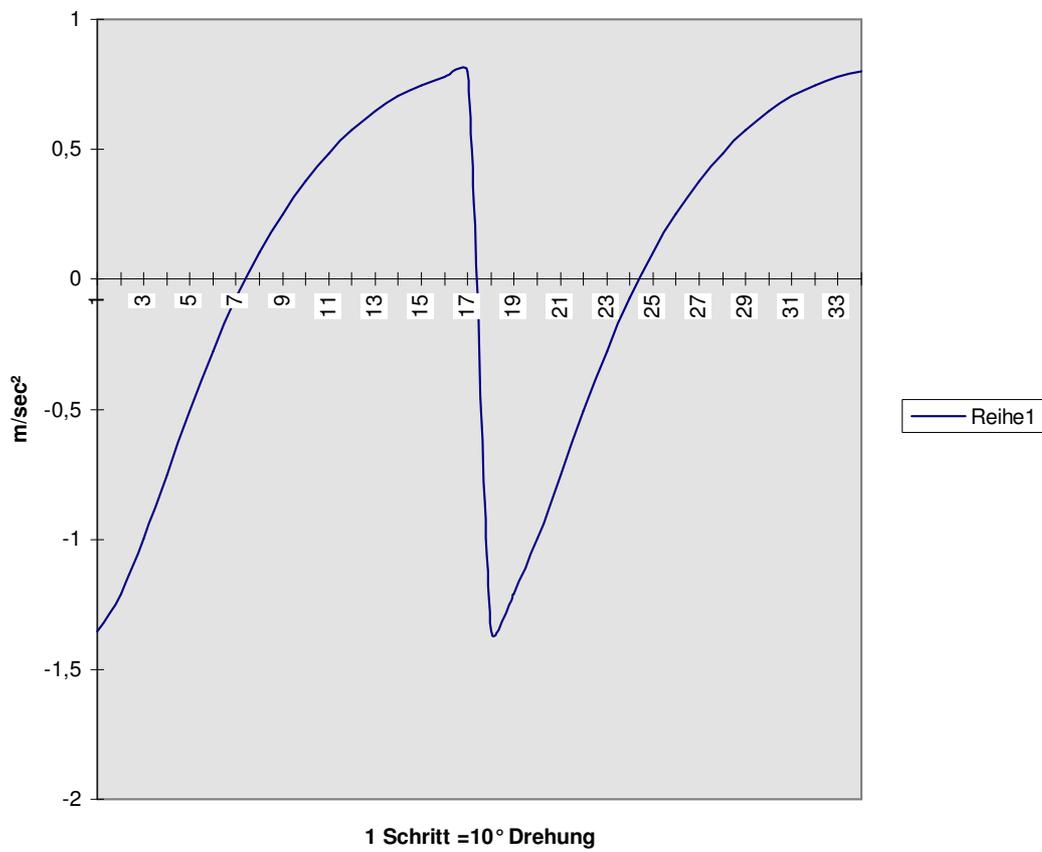


Bild: Beschleunigung des Kupferdrahtes im Bereich von einer 360° Drehung

[°]	Drahtlänge bis Berührungspunkt	Δl Draht	Winkel r [°]	Δr [°]	Δr [rad]	Bogen -länge	gesamte Längen- änderung	v Draht m/sec	a Draht m/sec ²
0	69		0						
5		-0,0451		13,74	0,2398	2,158	2,1128914	0,07606409	
10	68,9549		13,7382						-1,354147
15		1,0369		13,5	0,2357	2,121	3,1577578	0,11367928	
20	69,9918		27,24						-1,208421
25		2,0418		13,04	0,2276	2,048	4,0901812	0,14724652	
30	72,0336		40,2804						-0,996031
35		2,9058		12,43	0,217	1,953	4,8587239	0,17491406	
40	74,9394		52,7131						-0,752544
45		3,5916		11,76	0,2053	1,848	5,4393906	0,19581806	
50	78,531		64,4765						-0,50689
55		4,0868		11,1	0,1937	1,744	5,8305096	0,20989835	
60	82,6178		75,5773						-0,277868
65		4,3974		10,49	0,1831	1,648	6,044914	0,2176169	
70	87,0152		86,0657						-0,074116
75		4,5396		9,947	0,1736	1,563	6,1021025	0,21967569	
80	91,5548		96,0129						0,102024
85		4,5337		9,484	0,1655	1,49	6,0233804	0,21684169	
90	96,0885		105,4965						0,252486
95		4,4		9,095	0,1587	1,429	5,8285607	0,20982819	
100	100,4885		114,591						0,379518
105		4,1576		8,773	0,1531	1,378	5,5357224	0,19928601	
110	104,6461		123,3644						0,485868
115		3,8237		8,512	0,1486	1,337	5,1608247	0,18578969	
120	108,4698		131,8768						0,574085
125		3,4135		8,304	0,1449	1,304	4,7178579	0,16984288	
130	111,8833		140,1806						0,6466
135		2,9402		8,141	0,1421	1,279	4,2189382	0,15188177	
140	114,8235		148,3213						0,703973
145		2,4163		8,018	0,1399	1,259	3,6757488	0,13232696	
150	117,2398		156,3392						0,748116
155		1,8527		7,931	0,1384	1,246	3,0984986	0,11154595	
160	119,0925		164,2702						0,779453
165		1,2598		7,877	0,1375	1,237	2,4970691	0,08989449	
170	120,3523		172,1469						0,798086
175		0,6477		7,853	0,1371	1,234	1,8812621	0,06772543	
180	121		180						

10 Literaturverzeichnis

- [1] Helmut Lemme: Elektro-Gitarren, Sound, Pflaum Verlag München, 1977
- [2] E.Meinel: E-Gitarren Technik, Pflaum Verlag München, 1986
- [3] Brosnac, D.: an introduction to scientific guitar design,
Westport: The Bold Strummer, 1978
- [4] Engel,G.: Musikelektronik, Berlin Militärverlag 1982
- [5] Günter,B.: Technische Akustik, Grafenau, Expert Verlag, 1982
- [6] Wheeler,T. : The guitar book, New York, Harper & Row 1974
- [7] Gitarrentonabnehmer, Funkschau 51 (1981) 24, S21
- [8] Obering.Werner Böhm: Elektrische Antriebe, Kamprath Reihe Technik, 3.Auflage,
Vogel Buchverlag Würzburg
- [9] Dr.-Ing. H.Rentzsch: BBC Brown Boveri, Handbuch für Elektromotoren,
3. überarbeitete Auflage
- [10] Schaeffler Wälzlager oHG, Schaefflerring, D-6650 Homburg/Saar, INA Kugellager,
Gehäuse-Einheiten, Maßkatalog 511, Auflage 1991
- [11] Ralf Nolde: SMD-Technik, Franzis Einführung, Einstieg in die Miniatur-Elektronik
- [12] U.Tietze,Ch-Schenk: Halbleiter Schaltungstechnik, 9. Neu bearbeitete und erweiterte
Auflage, Springer Verlag
Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo Barcelona 1990
- [13] Prof.Dr.Dr.Ekbert Hering, Dipl.Ing.Klaus Bressler, Dipl.Ing.Jürgen
Gutekunst: Elektronik für Ingenieure, 2.verbesserte Auflage, VDI Verlag
- [14] Dieter Nährmann: Elektronik-Selbstbau für Profi Bastler, eine Anleitung zum
Selbstbau
vielseitig verwendbarer Geräte, 2. Neu bearbeitete Auflage, Franzis´
- [15] Prof.Dr.Dr.Ekbert Hering, Prof.Dr.Rolf Martin, Prof.Dr.Martin Stohrer:
Physik für Ingenieure, 3. verbesserte Auflage, VDI Verlag GmbH
- [16] W.Beitz und K.-H.Küttner: Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau,
16. Korrigierte und ergänzte Auflage,
Springer Verlag Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo 1987
- [17] Wilhelm Matek, Dieter Muhs, Herbert Wittel: Roloff/Matek Maschinenelemente,
11. durchgesehene Auflage, Friedr.Vieweg & Sohn, Braunschweig Wiesbaden
- [18] Conrad Elektronik GmbH :Bedienungsanleitung Up/Down-Zähler Best.Nr.: 115533
- [19] Conrad Elektronik GmbH :Bedienungsanleitung
Ansteuerkarte für Unipolare-Schrittmotoren, Best.-Nr. 190373
- [20] Conrad Elektronik GmbH :Bedienungsanleitung Stab.-Netzteilbaustein 12V/900mA,
16VA, Best.-Nr.: 191264
- [21] FAG Lagerkatalog WL 41 520/2 DB Ausgabe Mai 1996
- [22] Hoischen, technisches Zeichnen, 23. Auflage, Cornelsen Girardet
- [23] Steward Mc Donald´s Guitar Shop suply, Catalog No.71 1997
- [24] Item MB Systembaukasten, Ausgabe 1995, Item Industrietechnik und Maschinenbau
GmbH, Solingen

10 Literaturverzeichnis

- [1] Helmut Lemme: Elektro-Gitarren, Sound, Pflaum Verlag München, 1977
- [2] E.Meinel: E-Gitarren Technik, Pflaum Verlag München, 1986
- [3] Brosnac, D.: an introduction to scientific guitar design,
Westport: The Bold Strummer, 1978
- [4] Engel,G.: Musikelektronik, Berlin Militärverlag 1982
- [5] Günter,B.: Technische Akustik, Grafenau, Expert Verlag, 1982
- [6] Wheeler,T. : The guitar book, New York, Harper & Row 1974
- [7] Gitarrentonabnehmer, Funkschau 51 (1981) 24, S21
- [8] Obering.Werner Böhm: Elektrische Antriebe, Kamprath Reihe Technik, 3.Auflage,
Vogel Buchverlag Würzburg
- [9] Dr.-Ing. H.Rentzsch: BBC Brown Boveri, Handbuch für Elektromotoren,
3. überarbeitete Auflage
- [10] Schaeffler Wälzlager oHG, Schaefflerring, D-6650 Homburg/Saar, INA Kugellager,
Gehäuse-Einheiten, Maßkatalog 511, Auflage 1991
- [11] Ralf Nolde: SMD-Technik, Franzis Einführung, Einstieg in die Miniatur-Elektronik
- [12] U.Tietze,Ch-Schenk: Halbleiter Schaltungstechnik, 9. Neu bearbeitete und erweiterte
Auflage, Springer Verlag
Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo Barcelona 1990
- [13] Prof.Dr.Dr.Ekbert Hering, Dipl.Ing.Klaus Bressler, Dipl.Ing.Jürgen
Gutekunst: Elektronik für Ingenieure, 2.verbesserte Auflage, VDI Verlag
- [14] Dieter Nährmann: Elektronik-Selbstbau für Profi Bastler, eine Anleitung zum
Selbstbau
vielseitig verwendbarer Geräte, 2. Neu bearbeitete Auflage, Franzis´
- [15] Prof.Dr.Dr.Ekbert Hering, Prof.Dr.Rolf Martin, Prof.Dr.Martin Stohrer:
Physik für Ingenieure, 3. verbesserte Auflage, VDI Verlag GmbH
- [16] W.Beitz und K.-H.Küttner: Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau,
16. Korrigierte und ergänzte Auflage,
Springer Verlag Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo 1987
- [17] Wilhelm Matek, Dieter Muhs, Herbert Wittel: Roloff/Matek Maschinenelemente,
11. durchgesehene Auflage, Friedr.Vieweg & Sohn, Braunschweig Wiesbaden
- [18] Conrad Elektronik GmbH :Bedienungsanleitung Up/Down-Zähler Best.Nr.: 115533
- [19] Conrad Elektronik GmbH :Bedienungsanleitung
Ansteuerkarte für Unipolare-Schrittmotoren, Best.-Nr. 190373
- [20] Conrad Elektronik GmbH :Bedienungsanleitung Stab.-Netzteilbaustein 12V/900mA,
16VA, Best.-Nr.: 191264
- [21] FAG Lagerkatalog WL 41 520/2 DB Ausgabe Mai 1996
- [22] Hoischen, technisches Zeichnen, 23. Auflage, Cornelsen Girardet
- [23] Steward Mc Donald´s Guitar Shop suply, Catalog No.71 1997
- [24] Item MB Systembaukasten, Ausgabe 1995, Item Industrietechnik und Maschinenbau
GmbH, Solingen

