

Bericht Nr. 5a

Verfasser Prof. Dr. Karl Baur
September 2005

Thema: Automatisierung des kinesiologischen Armtestes

1. Einführende Bemerkungen

Die in der Vergangenheit des Projektes durchgeführten Untersuchungen sind in den Berichten 1 bis 4 besprochen. In ihnen wurde eine ganze Anzahl üblicher kinesiologischer Armtests durchgeführt, bei denen Kinesiologen als Tester eingesetzt waren. Es war dabei nie die Vermutung auszuschließen, dass die positiven Ergebnisse über den Einfluss der elektrischen Felder auf den menschlichen Körper vom Tester selbst oder doch in Kombination mit der Testperson herbeigeführt werden. Daher bestand eigentlich schon von Anfang an der Wunsch, die einzelnen Tests ohne den direkten Einsatz eines Testers durchzuführen, also den Tester durch andere Maßnahmen zu ersetzen.

Durch das Ausscheiden des Testers war die Testperson dann auf sich selbst gestellt. Sie musste nun den Muskeltonus des Deltoideus in fixer abduktiver 90-Grad-Haltung nach eigenem Bemühen variieren. Die dabei wirkende Kraft wurde mit einem zwischen Boden und Handgelenk befestigten DMS-Kraft-Sensor gemessen. Bei der Variation des Muskeltonus musste die Testperson bis an die maximale Anstrengung gehen, um dem normalen kinesiologischen Zustand bei der Adduktionsfolge nahe zu kommen. Die Auswertungen der vielen durchgeführten Tests haben bekanntlich (siehe die früheren Berichte) keine signifikante Abhängigkeit zwischen elektrischer Befeldung und dem Muskeltonus ergeben.

2. Aufgabe

Es liegt auf der Hand zu vermuten, dass die wie oben beschriebene Methode ohne Tester nicht der normalen Kinesiologie entspricht. Daher ist ein Verfahren entwickelt worden, das der Realität näher kommt.

Bei der oben dargestellten Methode ist die Testperson bei ihrem Vorgehen in einer rein isometrischen Haltung. Nur der Muskeltonus verändert sich. Dies ist bei dem normalen kinesiologischen Armtest nicht der Fall. Dort ergibt sich beim Brechen der Muskelkraft ein dynamischer Vorgang, dessen Eigenheiten unter Umständen eher verwertbare Hinweise geben, ob ein vorhandenes elektrisches Feld Einfluss genommen hat.

Das neue Verfahren nimmt auf diese Eigenschaft Rücksicht und versucht, der Testperson wieder die Initiative zu nehmen und den Armmuskel reaktiv zu beeinflussen. Außerdem wird die Abduktion des Armes verändert. Dies hat zwei Dimensionen der Betrachtung zur Folge. Einmal wird die Kraftbestimmung im dynamischen Fall möglich, andererseits bietet die Armbewegung eine geometrische Eigenschaft, welche die beim Test auftretenden kinetischen Vorgänge aufnehmen, auswerten und beurteilen lässt.

3. Auswahl des geeigneten Kraftsensors

Gewöhnlich wird - auch von Kinesiologen - ein Kraftsensor verwendet, der direkt an der vom Tester genutzten Teststelle eingesetzt wird. Der Kraftsensor ist daher ein Drucksensor, der zwischen dem Handgelenk der Testperson und der Hand des Testers liegt und unmittelbar die vom Tester ausgeübte Kraft aufnehmen kann. Er besteht aus einer runden Dose mit einem Durchmesser von ca. 5 cm und einer Höhe von 1 bis 2 cm. Sie mag für einen manuellen Test einigermaßen akzeptabel sein, für den Fall ohne Tester ist dies aber ungeschickt. Im Hinblick auf die Krafterzeugungsmethode, auf die im nächsten Abschnitt eingegangen wird, ist ein Kraftsensor angebracht, der auf Zug und Druck reagiert und nach dem Prinzip der Dehnungs-Mess-Streifen arbeitet. So ein DMS-Kraftsensor ist in Form eines Σ aufgebaut (mit einer Brückenschaltung von Dehnungsmessstreifen) und kann durch oben und unten am Sensor angebrachte Haken in ein lineares System eingebaut werden. Als am geeignetsten wurde ein Kraftsensor der Firma Megatron Industriesensorik aus der Serie K500 befunden. Der Messbereich erstreckt sich von 0 bis 500 Newton, hat einen Gebrauchslastbereich bis 350 Newton und kann also die bei den Tests zu erwartenden Kräfte bis 150 Newton gut aufnehmen. Das Gerät besteht aus Aluminium, ist also sehr leicht und besitzt eine DMS-Vollbrücke mit einem Nennkennwert von 2 mV/V. Die Aus- und Eingangswiderstände liegen bei 350 Ohm und die Speisespannung bei typisch 10 V. Will man die bei Belastung entstehende Ausgangsmessspannung bestimmen, so benutzt man die sog. Empfindlichkeit E. Ist der Nennkennwert $K=2\text{mV/V}$ und der Messbereich $M=500\text{N}$ (ewton), dann ist die Empfindlichkeit definiert als

$$E=K/M=0,004\text{mV/V}\times\text{N}$$

Ist nun die Speisespannung der Brücke 5V und die Belastung z.B. $B=100\text{N}$, so wird die Ausgangsspannung $A=2\text{mV}$, die dann für die Weiterverwendung noch entsprechend analog verstärkt werden muss. Da über die Grundresonanzfrequenz keine Angaben gemacht werden, kann über den Einsatz des Gerätes im Niederfrequenzbereich bis 10 kHz sicher verfügt werden.

Für die Verstärkung der Messspannung im mV-Bereich auf eine für die Weiterverarbeitung in eine vom Rechner benötigte Spannung im V-Bereich wird ein zweikanaliger Analogverstärker eingesetzt. Er ist so breitbandig, dass der Messbetrieb mit 5kHz durchgeführt werden kann. Dies ist notwendig, damit sich die 50-Hz-Schwingung des elektrischen Messfeldes und der Messvorgang selbst nicht gegenseitig stören und keine Einstreuungen erfolgen können.

Die 5 kHz Messschwingung wird im Analogverstärker erzeugt und dem Kraftsensor zugeführt. Ihre Stärke liegt bei $V=5\text{ Volt}$ (siehe weiter oben). Die Messstelle des Analogverstärkers wird zunächst auf Vollbrücke eingestellt und der Nullabgleich ohne Belastung des DMS-Sensors sichergestellt. Eine Hilfe dafür gibt ein festeingebautes Instrument bei Wahl der benutzten Messstellenummer. Mit einem Messbereichsschalter wird nun die Verstärkung des Analogverstärkers eingestellt. So kann z.B. 2mV am Eingang 1 Volt am Ausgang entsprechen. Die sich nun ergebende Messspannung wird einem Digitaloszillografen zugeführt, auf dessen Display die Kurven der Messspannung dann sichtbar gemacht werden können. Diese digitalisierten Messspannungen werden von einem Computer nach Bedarf abrufbar.

4. Auswahl des geeigneten Krafterzeugungsverfahrens

Wenn man den Tester ersetzen will, muss die Kraft, die normalerweise der Tester auf das Handgelenk ausübt, durch eine eigenständige Vorrichtung erzeugt werden. Es sind mehrere verschiedene Ausführungen denkbar, die alle auf die Erzeugung von Zugkräften ausgerichtet sind.

Wenn man den Druck der Testerhand nach unten ersetzen will, kann dies sinnvollerweise natürlich auch durch einen entsprechenden Zug nach unten geschehen. Dazu wird das Handgelenk mit einer Manschette versehen, an der der Zug nach unten ansetzen kann. Dann benötigt man ein zwischen Boden und Manschette festverbundenes Gerät, das sich auf Bedarf mit einer den menschlichen Gegenkräften angepassten Stärke zusammenzieht. Diese Stärke muss variabel wählbar und steuerbar sein, eben so wie sie von den Testermanipulationen her bekannt ist oder vermutet wird. Um hier flexibel zu sein, liegt es auf der Hand, diese variable Kraft durch Rechnersteuerung zu initiieren und zu beeinflussen.

Es gibt nun mehrere technische Möglichkeiten einer Realisierung dieser Forderungen. Um einen Hub zu erzeugen, kann man das Pleuelverfahren heranziehen und das Rad, mit dem der Kolben über die Pleuelstange verbunden ist, mit einem Elektromotor antreiben. Es dürfte relativ umständlich sein, das Rechnerprogramm so zu gestalten, dass der gewünschte Kolbenhub zustande kommt. Eine Abart von dieser Methode ist die Ausnutzung des Motor-Drehmomentes. Über ein Seil auf einer Spindel in der Motordrehachse wird die Motorkraft dem Kraftsensor zugeführt.

Ein anderes elektrisches Verfahren ist, den Kolben durch magnetische Kräfte zu bewegen. Dies geschieht am einfachsten mit einer Magnettauchspule, in die ein Eisenkolben nach Maßgabe des Spulenstromes gezogen wird. Der Spulenstrom wird durch den Rechner gesteuert. Die Schwierigkeit der Durchführung entsteht dadurch, dass die erzielbare Hubkraft sehr abhängig ist von der Lage des Kolbens im Verhältnis zur Spule. Außerdem ist eine reibungsfreie Führung des Kolbens in der Spule nicht einfach zu bewerkstelligen.

Im Rahmen dieser Betrachtung zeigte sich zunächst eine druckbezogene Krafterzeugung als geeignet. Hier standen 2 Möglichkeiten zur Wahl: eine hydraulische und eine pneumatische. Der zweiten dieser Möglichkeiten wurde der Vorzug gegeben, weil mit der hydraulischen durch den Ölbezug sehr große Reinlichkeitsprobleme verbunden sind.

Die Firma Festo hat uns dann in sehr großzügiger Weise unter die Arme gegriffen und uns mit dem für diese Zwecke notwendigen Material versorgt.

Als Kernstück der pneumatischen Anlage wurde ausgewählt

der Festozylinder Type DSEU 25-250-P-A

mit einem Hub von 25 cm und

einem Kolbendurchmesser von 25 mm

Die Belastbarkeit geht bis 12 bar.

Mit diesen Werten kann für den Armtest ausgekommen werden.

Die mit dem Festozylinder erzeugbare Kraft ergibt sich nach der Formel

$$K = 10 \times b \times F \quad \text{in Newton}$$

Dabei ist b der dem Zylinder angebotene Druck in bar und F die Wirkfläche des Zylinderstempels mit $F = \pi D^2/4$ in cm^2 , wobei D obiger Kolbendurchmesser ist.

Wird ein üblicher Druck von 6 bar angenommen und $D = 2,5$ cm gesetzt, dann wird $F = 4,91$ cm² und damit $K = 294,4$ Newton.

Es ist aber oft gebräuchlicher und noch gewohnter, die Kraft in kp anzugeben. Da der Zusammenhang zwischen kp und Newton durch den Norm-Faktor der Erdbeschleunigung $g = 9,81$ m/s² gegeben wird, (siehe $K = g \times m$), wird dann für die Kraft K auch oft rund 1/10 des Newton-Wertes, hier mit 29,44 kp, benutzt. Wie oben schon mal erwähnt, reicht diese Größe für die üblicherweise vorkommenden Abduktionskräfte voll aus.

Der Druckzylinder ist in beiden Richtungen verwendbar, für das Ausdehnen und das Zusammenziehen. Obige Darstellung ist für den Ausstoß gültig, da für den Druckangriff die ganze Deckfläche des Kolbens zur Verfügung steht. Für den vorgesehenen Einsatz des Zylinders ist aber der Einzug des Kolbens anzusetzen. Dies bedeutet, dass für den Druckansatz nur eine kleinere Fläche zur Verfügung steht, nämlich die Deckelfläche des Kolbens minus der Querschnittsfläche des Kolbens selbst. Dies reduziert die maximal zur Verfügung stehende Druckkraft auf 24,7 kp, was ebenfalls noch voll ausreicht. Der resultierende Querschnitt ist also nur 4,12 cm². Wird also 24 kp bei 6 bar erreicht, dann genügen schon 1,5 bar für übliche 6 kp.

5. Vervollständigung der pneumatischen Einrichtung

Die für den Betrieb des pneumatischen Zylinders notwendige Druckluft benötigt eine entsprechende Aufbereitung. Dazu bedarf es einiger weiterer Geräte.

Zunächst muss die Druckluft als solche bereitgestellt werden. Für diesen Zweck wurde ein Kompressor beschafft, der, elektrisch betrieben, um 10 bis 12 bar dem Verbraucher zuführen kann. Das Ausgangsventil kann so eingestellt werden, dass ein bestimmter Druck immer ansteht. Um den Kompressor nicht zu überlasten, wurde dieser Druckwert auf 8 bar eingestellt. Wenn dann im Kompressorhohlraum diese 8 bar unterschritten werden, läuft der Kompressor wieder selbständig an und ergänzt sofort die fehlende Menge Luft.

Über entsprechende Schlauchverbindungen kommen nun drei weitere pneumatische Geräte zum Einsatz.

Um die weitere Verarbeitung abzusichern und den bereitzustellenden Druckwert genau einzuhalten, folgt als erstes ein präzises Eingangsventil, ein sog. Filter-Regelventil mit Manometer (nach Festo LFR-1/8-D-5M-MINI), das einen genauen Druckwert hier z.B. 6 bar einstellen lässt. Außerdem enthält es einen Entfeuchter, der der durchströmenden Druckluft die immer vorhandene Feuchtigkeit entzieht und in einem Behälter sammelt, der bei Bedarf entleert werden muss.

Als nächstes folgt ein Druckluftschalter (nach Festo HE-D-MIDI). Mit ihm wird das eigentliche Arbeitsgerät von der permanenten Druckluftseite getrennt, wenn keine akute Messung gemacht wird. Dadurch wird es möglich, jederzeit nötige Manipulationen am Arbeitsgerät ohne Rücksichtnahme auf die Druckluftbereitstellung vorzunehmen.

Das letzte Gerät in dieser Reihe ist nun das Steuergerät als Proportional-Druckregelventil mit Entlüftung (nach Festo MPPE-3-1/4-10-010). Es ist das eigentliche Kernelement und hat die Eigenschaft, den konstanten Eingangsdruck nach Maßgabe der elektrischen Ansteuerung so zu verändern, dass der dem Druckzylinder angebotene Druck im Druckzylinder gerade die geforderte Kraft auslöst. Damit wird der Kraftverlauf am Druckzylinder beliebig wählbar. Der Versorgungsdruck kann bis 12 bar gewählt werden, liegt aber gewöhnlich so bei

6 bar. Die Steuerspannung geht von 0 bis 10 Volt und teilt damit den Ausgangsdruck linear zwischen 0 und 10 bar. Reichen also für 6 kp schon 1,5 bar, dann ist auch 1,5 Volt für die Ansteuerspannung ausreichend. Die elektrische Ansteuerung wird in einem eigenen Gerät generiert, das wiederum vom Rechner die Sollvorgaben erhält.

Dieses Gerät wurde von dem AK-Mitglied Passenheim entworfen und besteht aus einem D/A-Wandler und einem regelbaren Gleichspannungs-Verstärker (siehe S-S in folgender Skizze), der den vom Rechner vorgegebene und dann gewandelte Steuerwert von der Größe 0 bis 1 auf die vom Druckregelventil benötigte Spannung 0 bis 10 Volt umsetzt. In dem Verstärkerteil ist ein Potentiometer eingefügt, mit dem die Ausgangsspannung noch nachreguliert werden kann. Dies ist aus Testablaufgründen erforderlich.

6. Die Vermessung der Armlage

Eine wichtige Komponente des kinesiologischen Testablaufes ist die Abwärtsbewegung der Hand, wenn die Testkraft so groß wird, dass die Testperson nicht mehr gegenhalten kann und der Arm mit einer Abwärtsbewegung nachgeben muss. Der zeitliche Verlauf dieser Bewegung kann ein wichtiges Indiz preisgeben für die hier gestellte Aufgabe.

Das AK-Mitglied Dr. Esprester hat die für diesen Zweck nötige Vorrichtung entworfen und ausgeführt. Sie besteht im wesentlichen aus einer gespannten Fadenschlinge, die über Rollen so geführt ist, dass ein Teil davon senkrecht liegt. Dieser Teil wird auf einfache Weise mit einem Finger der zum Test ausgestreckten Hand verbunden. Da die Fadenschlinge auch über den Rollenantrieb eines Mehrgangpotentiometers läuft, ist die Ausgangsspannung des Potentiometers linear verknüpft mit der vertikalen Bewegung der Hand der Testperson. Durch Wahl der Versorgungsspannung des Potentiometers kann die Größe der Messspannung an die Hublänge des Druckzylinders angepasst werden.

7. Über die Gesamtanordnung der Anlage

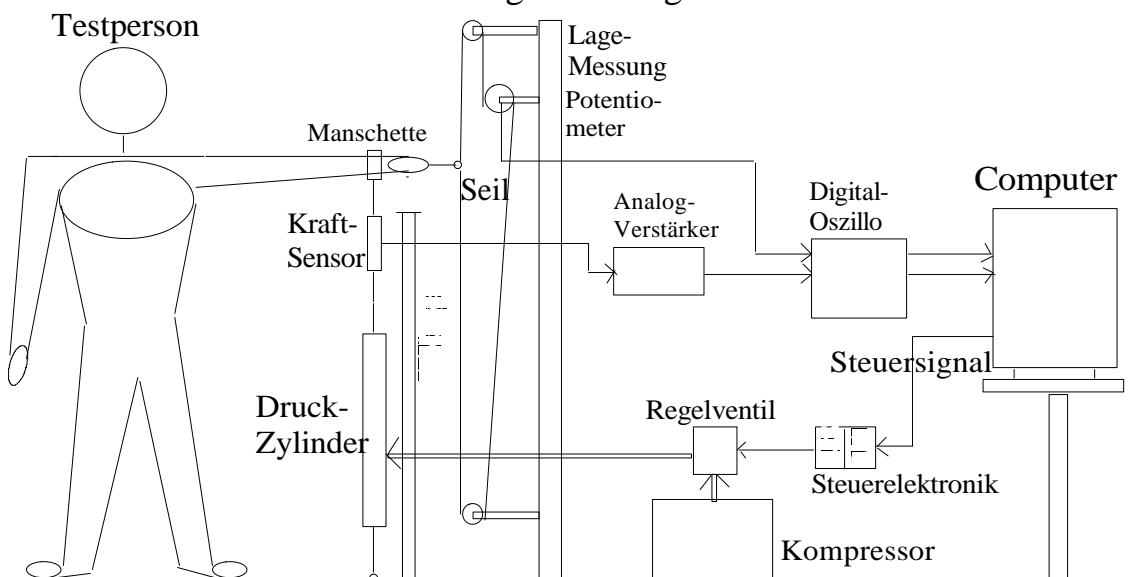


Bild 1

Im dargestellten Bild ist deutlich zu erkennen, wie der Druckzylinder vom Kompressor her mit der Druckluft versorgt wird und das Regelventil vom Computer aus gesteuert ist. Der Kraftsensor zwischen Manschette und Druckzylinder gibt seine Information an den Analogverstärker und über den Digitaloszillograf weiter an den Computer. Ebenso gilt dies für die Lageinformation über die Hand der Testperson, die von dem Potentiometer direkt dem Digitaloszillografen zugeführt wird. In der Anordnung kann die Ablage erkannt werden, auf der die Hand der Testperson ihre Ruhelage hat, während die dargestellte Haltung der Testperson für den Fall der Testsituation gilt.

8. Die Testprozedur und ihre Steuerung

Der Inhalt dieses Abschnitts ist die Beschreibung des Testalgorithmus und des zugehörigen Rechnerprogramms, das von dem AK-Mitglied Fliege stammt.

Der vereinbarte Testalgorithmus verlangt einen Testablauf über 10 Sekunden. Dieser Zeitraum beginnt mit einer 3 Sekunden langen Ruhephase, zu deren Beginn das elektrische Feld im Testraum nach einer Zufallsfunktion mit einer definierten Stärke eingeschaltet wird und als Einstimmung der Testperson zu werten ist. In dieser Zeit gibt der Druckzylinder keine Kraft ab. Zu Beginn dieses Zeitraumes erhält die Testperson vom Testleiter den Befehl, den Arm von der Ablage in die 90-Grad Testposition zu bringen, ihn also ca 25 cm anzuheben. Nach 3 Sekunden beginnt die eigentliche Testung mit einer Länge, die 3, 4 oder 5 Sekunden lang wählbar ist. In dieser zweiten Phase beginnt der Testzylinder seine Kraft auszuüben, und zwar beginnt er bei 0 kp und steigert sich auf einen vorgegebenen Endwert, der so groß ist, dass der Testarm kurz vor Erreichen des Maximalwertes dem Zug nicht mehr standhalten kann und auf die Ablage absinkt. Der Vorgang wird wie oben erwähnt nach 10 Sekunden abgebrochen, wobei auch das elektrische Feld, wenn vorhanden, und die Zylinderkraft wieder auf 0 abgesenkt wird.

Der Anstieg der Kraft in der mittleren Phase dieser Prozedur erfolgt nach einer Potenzfunktion, also wie x^n . Wird der Exponent $n = 1$ gewählt, dann ist der Kraftanstieg linear. Bei kleinerem n steigt die Kraft mehr logarithmisch, bei größerem n dagegen parabelhaft an. Ersteres wird wohl der übliche Weg sein. Wie die Kraft eines kinesiologischen Testers beginnt dann die Kraft langsam ansteigend bei 0 kp und wird gegen Ende der Phase schneller zum Maximalwert kommen.

Der dargestellten 10-Sekundenprozedur geht bei Beginn der Testreihe, deren Anzahl beliebig wählbar ist, eine Anpassungsphase voraus. In dieser Phase wird das Kraftpotential der Testperson bestimmt. Jede Testperson ist als Individuum von den anderen Testpersonen verschieden, jedenfalls was seine Kraftentfaltungsmöglichkeit angeht. Selbst jede Testperson zeigt zu verschiedenen Zeiten gewisse Unterschiede in seiner erzeugbaren Maximalkraft. Daher ist diese Anpassungsphase bei jeder neuen Testperson zu wiederholen, muss aber auch bei jeder Testperson von Zeit zu Zeit wiederholt werden. Zu Beginn dieser Phase wird die Testperson wie auch bei der eigentlichen Testung aufgefordert, den Arm in die 90-Grad –Position zu bringen. Daraufhin beginnt der Rechner innerhalb von einer Sekunde seinen Wert des Steuersignals von 0 auf den Maximalwert von 1 zu steigern. An einem Potentiometer des Gleichspannungsverstärkers S-S, das zunächst auf 0 steht und daher den Verstärkerausgang ebenfalls auf 0 hält, wird dann so weit aufgedreht, bis der

Verstärkerausgang gerade die Spannung an das Proportionalventil signalisiert, dass der Druckzylinder die für das Überwinden der maximalen Armkraft notwendige Zugkraft erzeugt. An einem beigegefügt Digitalvoltmeter kann die dabei erreichte Spannung des Verstärkerausganges abgelesen werden. Nun wird diese Spannung durch Weiterdrehen des Potentiometers um ca 10% erhöht und auf diese Weise für die nachfolgende eigentliche Testung ein ausreichendes Kraftvolumen für den Druckzylinder geschaffen.

Das Programm wird am Rechner durch Eingabe von **b9** gestartet. Man hat dann am zweikanaligen Digitaloszillografen als Anzeige die 2 Kurven einmal des Messwertausganges vom Kraftsensor, zum anderen auch des Längenmesspotentiometers. Da das Programm startsynchon abläuft, also beim Startsignal über die Eingabetaste des Rechners beginnt und dann 10 Sekunden läuft, kommen auf dem Oszillografen die 2 Messwertreihen dieser 10 Sekunden zur Anzeige. Sofort danach werden diese Messreihenwerte in den Rechner übernommen und dort auf dem Display angezeigt. In dieses Bild wird vom Rechner selbst noch das von ihm an die Steuerelektronik abgegebene Steuersignal eingebracht, so dass auf dem Display letzten Endes 3 Kurven zur Anzeige kommen. Diese 3 Messreihen, bestehend aus jeweils 2500 Messwerten, werden dann nach Abschluss jeden Testes auf einer Diskette gespeichert und einer weiteren Bearbeitung zur Verfügung gestellt. Des weiteren sei noch erwähnt, dass wie in früheren Berichten bereits ausführlich dargestellt, die Testperson bei jedem Test darauf abgefragt wird, ob sie selbst eine Empfindung über das Vorhandensein eines elektrischen Feldes gewonnen hat. Mit dieser Angabe wird dann auch noch wie früher schon gewohnt eine Statistik ermöglicht, mit der die Trefferquote der Testerempfindlichkeit ermittelt und angezeigt werden kann.

9. Ansichten der Messeinrichtung

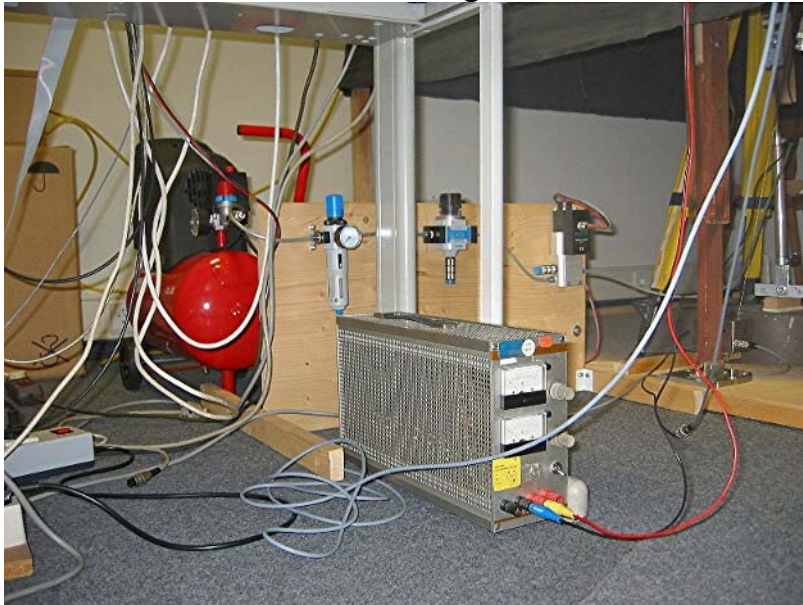


Bild 2

Die pneumatische Anordnung mit Kompressor, Filterregelventil, Druckluftschalter, Proportionalregelventil



Bild 3 Die Anordnung in der Meßkabine mit der Testperson, der Zugerzeugung mit dem Druckzylinder, dem Kraftmesssensor und der Messvorrichtung für die Handlage

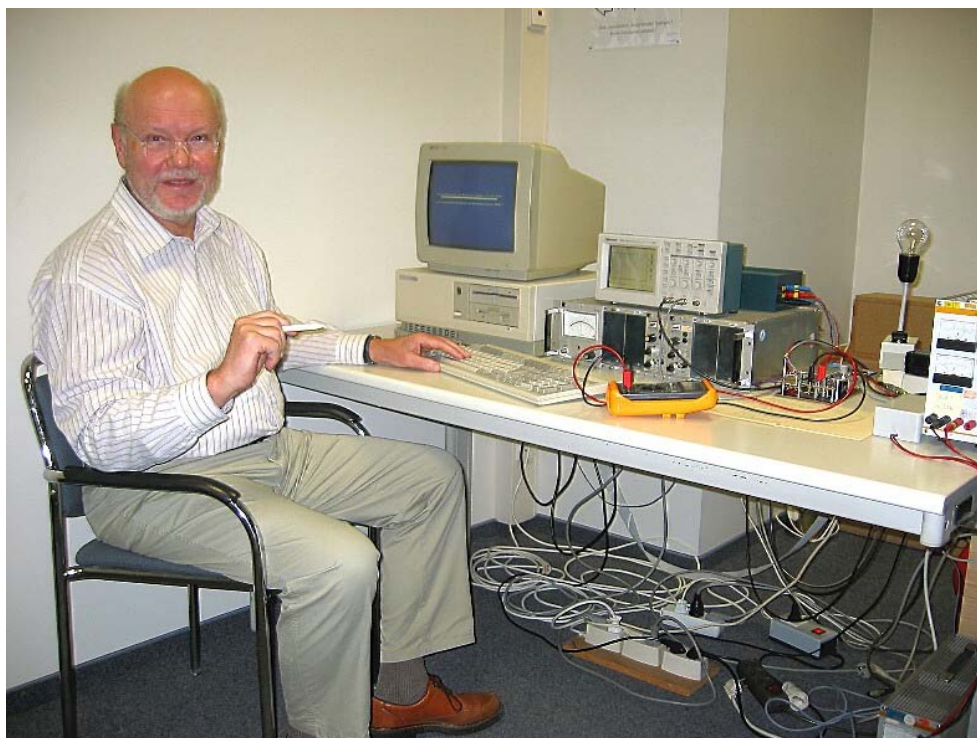


Bild 4 Der Arbeitstisch mit Computer, Analogverstärker, Digitaloszillograf und dem regelbaren Steuerelement mit Digitalvoltmeter

10. a) Erprobung der pneumatischen Einrichtung (20.3.06)

Nach den langen technischen Vorbereitungen für das pneumatische System in der ersten Hälfte des Jahres 2005, in denen vor allem mit der Druckerzeugung Erfahrung gesucht werden musste, kam dann im Wintersemester 05/06 der erste Schritt für die Erprobung der ganzen pneumatischen Einrichtung. Mit den erfahrenen Kräften für den kinesiologischen Armttest kamen dann zunächst sehr hoffnungsvolle Aufnahmen zustande. Eine sei als Beispiel näher besprochen.

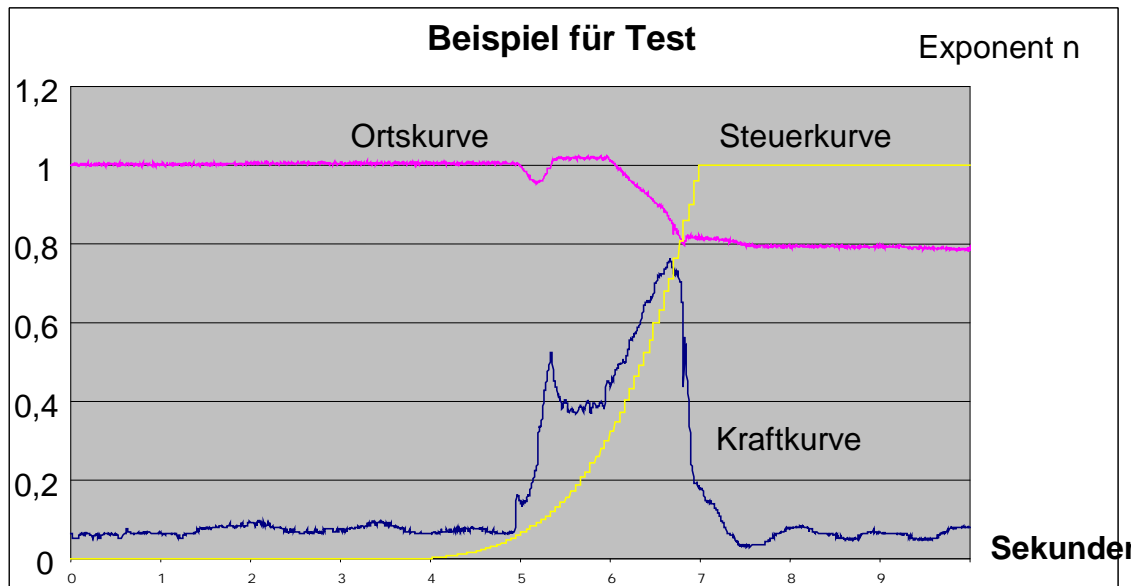


Bild 5

Es kommen im Bild 3 Kurvenverläufe zur Darstellung:

- die Kraftsteuerkurve , wie sie vom Rechner vorgegeben wird
- die Kraftmesskurve , die vom Kraftsensor zwischen Hand und Druckzylinder herrührt
- die Ortskurve , welche die Handlage anzeigt.

Der Kraftverlauf ist sehr überzeugend und gibt deutlich zu erkennen, dass die Methode aus Abschnitt 5 funktioniert. Dort ist ja vorausgesetzt, dass die von der Testperson erzeugbare Maximalkraft auf ca. 10 % unter der im Druckzylinder (Kraftkurve) vorgegebenen Maximalkraft bleibt.

Der Kurvenverlauf zu Beginn des Versuches in der Gegend A ist nicht direkt verständlich. Aus diesem Grunde wurde ein einfaches Verfahren vorgezogen, mit dem ein direkter Vergleich zwischen den beiden Kraftkurven 1 und 2 möglich wurde. Am besten kann dieser Vergleich sicher bei linearem Kraftanstieg erfolgen. Bei diesem Verfahren wird keine Testperson benötigt. Die Handschlaufe wird direkt am Stativ fixiert und damit immer in der gleichen Position gehalten. Als Ergebnis dieser Anordnung muss eine lineare parallele Aufzeichnung der Kraftkurven 1 und 2 erfolgen und zwar bis zum gleichen Maximum.

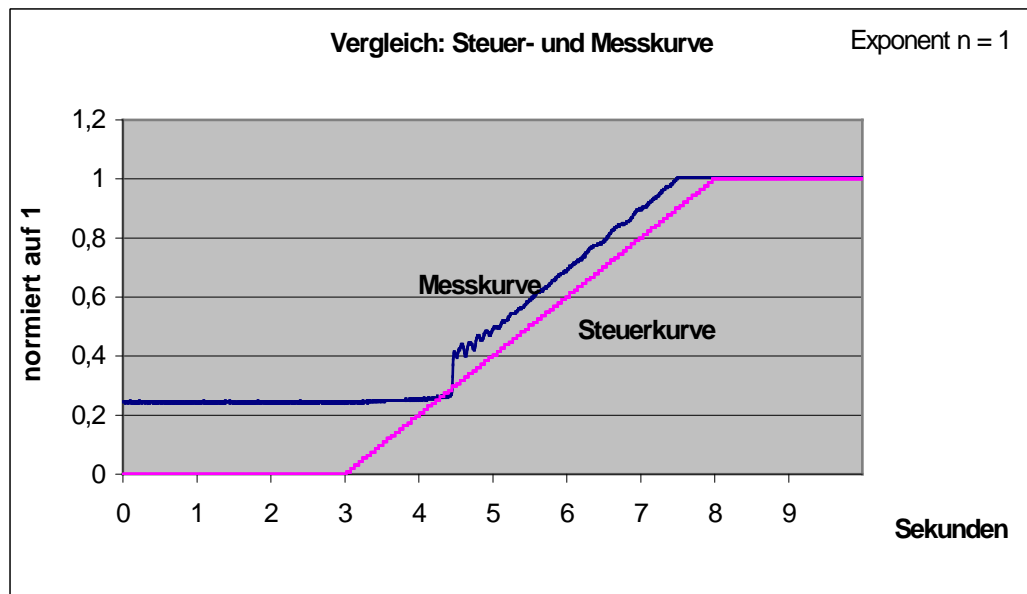


Bild 6

Bei unvorsichtigem Vorgehen kann letztere Forderung evt. nicht erfüllt sein. Eine nähere Betrachtung zeigte, dass der Druck vom Kompressor über längere Benutzungszeit an dem Eingangsventil unter den Wert sinkt, der am Steuerventil über die Maximalkrafteinstellung vorgegeben wird. Es ist also bei jeder einzelnen Messung darauf zu achten, dass der zur Verfügung gestellte Kompressordruck wenigstens 10 bis 20 % über dem eingestellten Maximaldruck des Druckzylinders liegt. Gleichheit der beiden Drücke ist nicht ausreichend wegen den sicher vorhandenen Verlusten in den Leitungen.

Den entscheidenden Einfluss auf die Kurvenverschiedenheit bringt aber offenbar die Haftreibung zustande. Sie wird an 2 Stellen wirksam, nämlich zwischen der Kolbenendplatte und dem Druckzylinder und zwischen der Führungsstange und der zugehörigen Zylinderführung. Als Resultat kommen 2 Dinge zum Vorschein. Die Kurven des Kraftsensoren zeigen von vornherein eine Vorspannung von ca. 2 kp. In dieser Größenordnung liegt die Haftreibung, die von einem vorhergehenden Test zurückbleibt. Sie kann leicht eliminiert werden, wenn vor jeder neuen Messung durch Manipulation der Anfangswert auf 0 justiert wird.

Viel schwerer für die Messkurve wiegt die Tatsache, dass sie immer mit einem Sprung beginnt. D.h., dass der Kolbendruck erst mal die Haftreibung überwinden muss, bevor die Kraft ihren linearen Anstieg beginnen kann. Außerdem scheint die Luft im Zylinder sich durch den Ruck in Schwingungen von ca. 10 Hz zu versetzen. Dieser Einschwingvorgang mit einer Amplitude von einigen 0.1 kp dauert nicht ganz eine Sekunde. Der weitere Kurvenverlauf ist ausreichend glatt, sofern die elektrisch eingestellte Maximalkraft 8 bis 10 kp nicht unterschreitet. Ist diese Kraft nämlich geringer, dann kann sich durch das langsame Ansteigen des Drucks der Kolben nach jedem Ruck wieder neu festsetzen, so dass sich also in gleichbleibendem Rhythmus der Ruckvorgang wiederholen kann.

Zu diesen Effekten wurden einige Detailuntersuchungen gemacht. Durch den Haftreibungsruck am Anfang der Kraftentfaltung kommt eine Verzögerung der Kraftkurve zustande. Sie ist besonders groß bei kleinen Maximaldrücken im Zylinder (u.U. mehrere Sekunden). Bei 10 kp Maximaldruck liegt sie unter einer

Sekunde, kann aber nicht beseitigt werden. Durch Erniedrigen des Exponenten $n < 1$ (z.B. $n = 1/2$ oder $1/4$) wird die Kraftkurve wurzelförmig, bekommt also zu Beginn eine schnellere Erhöhung. Dadurch wird aber nur der Ruck kaschiert und evt. wichtige Feinheiten der Sensorkurve überdeckt.

Es ist auch die Hoffnung geäußert worden, dass evt. die Größe des im Druckzylinder vorhandenen Luftvolumens die beobachteten Effekte beeinflussen könnte. Messaufnahmen mit verschiedenen Luftvolumina zeigten aber keine Veränderung dieser Effekte wie Ruck oder Einschwingvorgänge.

Der Verdacht, dass der Ruck, also der Anfangssprung der Kraftkurve evt. schon im Proportionalventil entsteht, konnte geklärt werden, indem man durch Klopfen an den Zylinder bzw. an das Ventil versuchte, den Ruck auszulösen. Dabei war der Druck im Zylinder mit 0,1 Volt auf etwa 0.4 kp eingestellt, also unterhalb der für den Ruck erforderlichen 1 bis 2 kp. Nur das Klopfen am Zylinder löste den Ruck aus. Es kommt offenbar die Haftreibung im Zylinder in Frage.

Das Auslösen des Rucks durch Klopfen am Zylinder nährte die Hoffnung, auf diese Weise die Haftreibung zu überwinden. Beim Klopfen mit einem harten Gegenstand zeigte die Kraftkurve starke Ausschläge im selben Rhythmus. Auch ein eingesetzter Rüttler belegte die Kraftmesskurve mit zusätzlichem starkem Rauschen. Obwohl die Haftreibung dabei früher überwunden werden konnte, lässt das Rauschen keine Details in der Messkurve mehr erkennen.

Übrigens ist die Kraft für die Überwindung der Haftreibung immer gleich groß, egal ob der Druck im Zylinder klein oder groß ist. Erfolgt der Druckanstieg langsam, dann hat der Kolben im Zylinder Zeit, sich immer wieder festzusetzen und der Kraftkurvenverlauf wird unruhig. Bei normalem Anstieg (z.B. in 4 Sekunden von 0 auf 10 kp) gibt die Halterung in der Manschette doch leicht nach, so dass nur die Gleitreibung übrig bleibt, und ein glatter Kurvenverlauf zustande kommt.

Es ist außerdem versucht worden, über die Softwaresteuerung auf die Haftreibung einzuwirken. Der Rechner erzeugt dafür Impulse, die der Steuerkurve 1 aufgeprägt werden. Sie können in Stärke, Länge und Abstand verändert werden. Die Idee dabei ist, die Druckluft im Zylinder so in Unruhe zu versetzen, dass der Druckkolben sich aus der Haftreibung löst. Doch trotz vielfacher Varianten ist dies nicht gelungen. Offenbar kommen wegen der Kompressibilität der Luft die im Steuerventil erzeugten Stöße gar nicht bis zum Druckzylinder.

Um sich ganz auf die Haftreibung konzentrieren zu können, wurde mit einer Metallschiene der Abstand zwischen Zylinder und dem oberen Ende des Kraftsensors fixiert. Wie sich dann mit einer Messung bestätigte, zeigt sich eine Zugkraft am Kraftsensor erst nach Überwindung der Haftreibung. Die Druckkraft im Zylinder wirkt also in diesem statischen Fall gegen die Summe aus Haftreibung und Zug am Kraftsensor. Offenbar gibt es aber selbst hier Mikrobewegungen wie der untere Beginn der Kraftkurve 2 zeigt. Die Haftreibung ist ein kompliziertes Phänomen, das mit sog. Leichtlaufzylindern angegangen werden muss, siehe Festozylinder DSNU-25-250-P-A-S11.

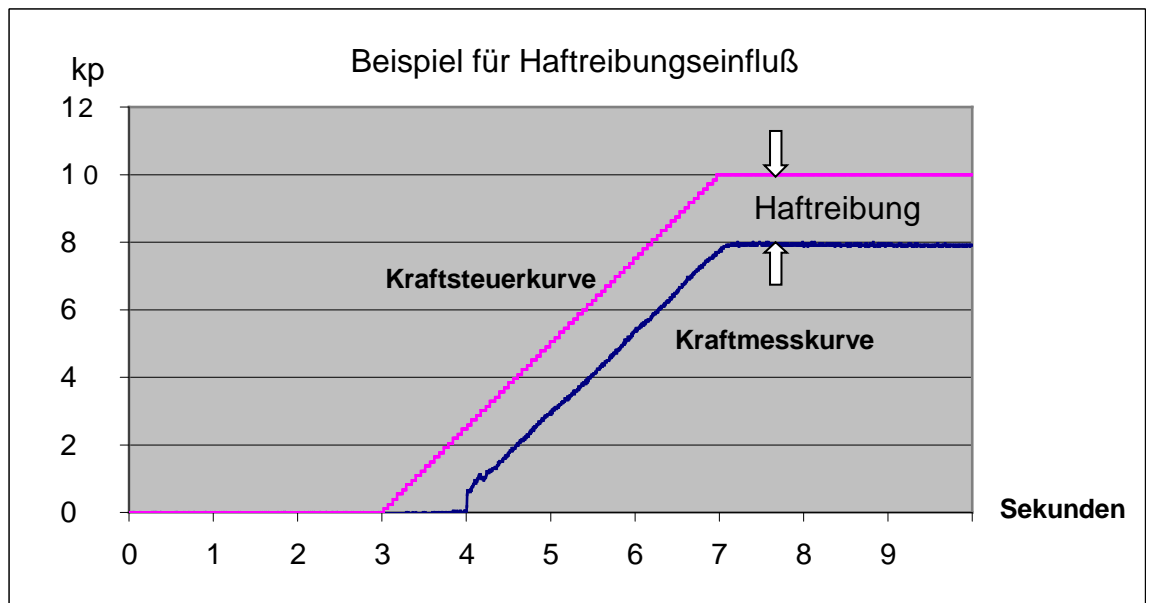


Bild 7

b) Die Eigenschaften von Leichtlaufzylindern

Der für die hier gestellte Aufgabe entscheidende Nachteil ist die oben beschriebene Haftreibung in dem für die Krafterzeugung benutzten pneumatischen Zylinder. Diese Haftreibung macht sich vor allem im unteren Kraftbereich beim Beginn des kinesiologischen Vorganges bemerkbar, indem aus der Ruhelage heraus kleine bzw. kleinste Kräfte bereits die Abduktion des Armes einleiten wollen und die Testperson in diesem Anfangsmoment mit kleinsten Gegenreaktionen antworten muss. Wie aber oben dargestellt, ist diese Empfindlichkeitsschwelle nicht erfassbar, wenn die Haftreibung im Zylinder die erwähnte Größe hat und erst mal überwunden werden muß. Denn erst dann können die Kraftschwankungen der Armmuskulatur am Kraftsensor zur Wirkung kommen. Die pneumatische Industrie stellt nun für bestimmte Zwecke sog. Leichtlaufzylinder zur Verfügung, bei denen die Reibungsflächen in den Zylindern entsprechend präpariert sind. Aber auch hier ist noch eine merkbare Haftreibung vorhanden. Um diese so klein wie möglich zu bekommen, ist mit feinstem Schleifmittel auf die Innenteile des Zylinders über mehrere Durchgänge eingewirkt worden. Danach wurde der Innenteil des Zylinders intensiv mit Ultraschall und Wasser gereinigt. Abschließend wurde noch feinstes Gleitmittel eingebracht. Als Ergebnis dieser umständlichen Prozedur zeigte der Zylinder eine überraschende Eigenschaft. Die Haftreibung war soweit reduziert worden, dass der Stempel bei senkrechter Haltung des Zylinders von selbst durch sein Eigengewicht sich im Zylindergehäuse absenkte. Offenbar ist die Haftreibung auf weniger als 10% der ursprünglichen Größe von ca. 1 kp zurückgegangen und spielt nun bei den sowieso vorhandenen Gewichten der Messanordnung mit Messsensor, Handschlaufe und Verbindungskabel keine Rolle mehr. Der Fortschritt tritt deutlich in den beiden Vergleichsmessungen zu Tage, die in den beiden folgenden Diagrammen dargestellt sind.

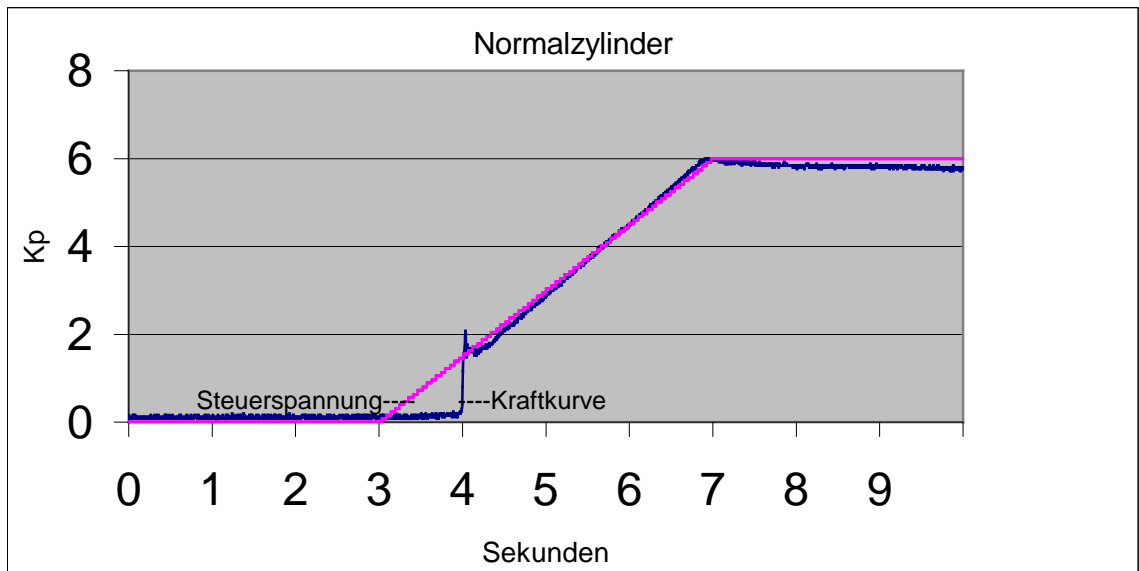


Bild 8

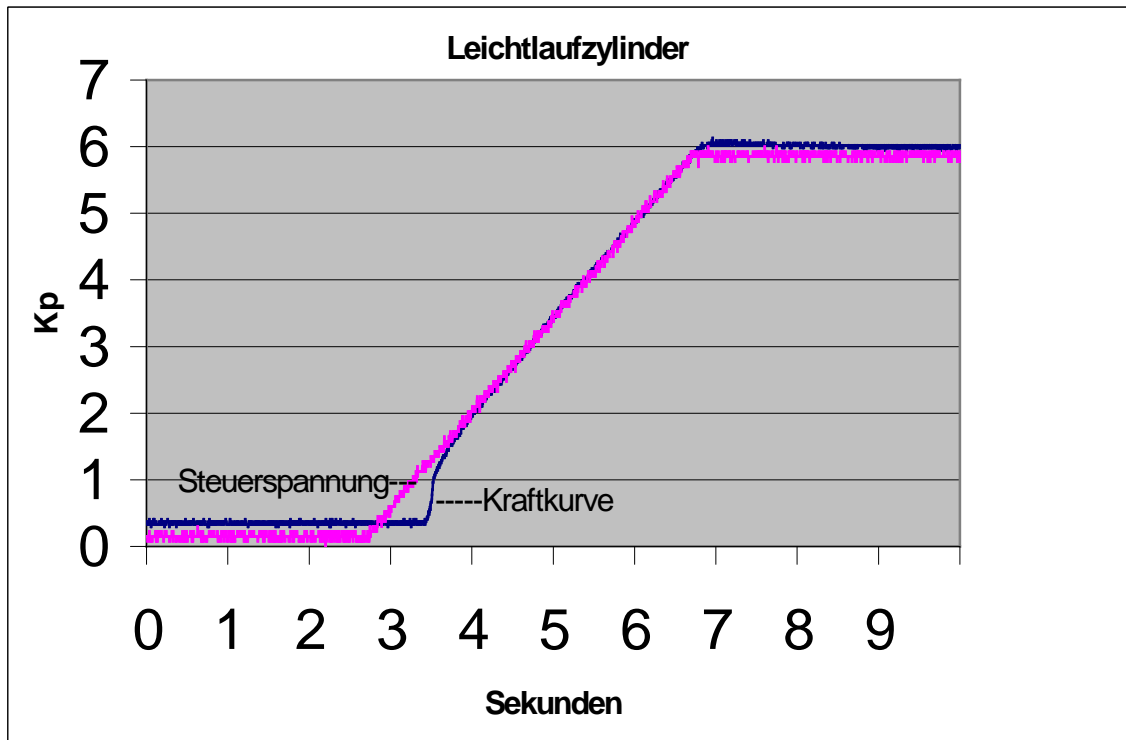


Bild 9

Beim Normalzylinder ist deutlich zu sehen, wie die Kraftkurve aus ihrer Nulllage nach Überwindung der Haftreibung auf ca. 1,5 kp hochschnellt, um dann nach dem kleinen Einschwingvorgang linear anzusteigen. Beim Leichtlaufzylinder dagegen beginnt die Kraftkurve nach Übersteigen der Steuerspannung von ca. 1 kp sich stetig dem linearen Anstieg anzuschmiegen. Allerdings kommt etwas ganz deutlich zum Ausdruck. Auch hier beginnt die Kraftkurve nicht wie erwartet bei kleinsten Werten der Steuerspannung bereits anzusteigen.

Dieses Verhalten kann auch nicht verändert werden, wenn man versucht, schon beim anfänglichen Ruhewert eine kleine Steuerspannung vorzugeben. Übersteigt diese nämlich 0,14 V, so springt die Kraft auf über 1 kp und lässt kleinen Anzeigeschwankungen keine Chance. Dies gilt auch bei impulsförmigen Anstößen mit der Steuerspannung. Offenbar kommt hier noch ein ganz anderer Effekt zum Tragen. Wie Festo bei Nachfragen erläuterte, werden die

Proportionalregelventile von ihnen nur mit einer Nullpunktsunterdrückung geliefert. Wie weitere Untersuchungen mit variabler Anfangskraft gezeigt haben, ist diese Nullpunktsunterdrückung auf etwa 0,1V also ca 0,4Kp eingestellt. Eventuell wichtige Kräfteschwankungen zu Beginn eines kinesiologicalischen Tests in dieser Größe sind also so nicht erkennbar.

c) Proportionalventil ohne Nullpunktsunterdrückung (14.09.2006)

Die Firma ASCO JOUCOMATIC GMBH dagegen liefert auch Proportionalventile ohne Nullpunktsunterdrückung. Es wurde daher ein solches beschafft mit der Bezeichnung Digitales elektronisches Druckregelventil SENTRONIC D. Es ist ausgestattet mit einem Mikroprozessor und kann über eine Software in Grenzen speziell konfiguriert werden. Damit kann die Nullpunktsgestaltung nach Bedarf eingestellt, also auch keine Nullpunktsunterdrückung gewählt werden.

Letzteres ist nicht ganz so selbstverständlich. Dies zeigt die Handhabung der von ASCO mitgelieferten Software, die auf einem Laptop installiert wurde. Der Laptop ist über ein Kabel mit dem Proportionalventil verbunden und kann die Einstellungen des Mikroprozessors im Ventil in weiten Bereichen konfigurieren.

Für ein befriedigendes Arbeiten ist es sinnvoll, das Programm auf dem Laptop immer einzuschalten in der Reihenfolge:

```
„Windows Explorer“->System[C:]“->“Sentronic-Xp-V402“->“das.exe“->“Projekt“->“Open“->“Biosens1“
```

Danach ist bei eingeschaltetem Ventil das Ventil programmiert und bleibt programmiert, auch wenn der PC-Stecker abgezogen wird.

Bei Lieferung des Ventils ist dieses von ASCO vorprogrammiert und zwar mit einer Nullpunktsrampe. Für unsere Zwecke der Nullpunktseinstellung ist das Ventil also umzuprogrammieren.

Dazu wird unter „Parameter“ zunächst das „Setpoint“ angewählt. Hier wird unter „Setpoint Signal“ der Steuerspannungsbereich 0-10 Volt und unter „Setpoint Direction“ Normal 0-100% gewählt, damit wie im Bild Seite 6 über die Steuerelektronik dieselben Verhältnisse wie beim Festo-Ventil herrschen (siehe Seite 5). Es gilt dann wie dort

0-10 Volt à 0-10 bar à 0-40 kp

also bei Potentiometereinstellung von 2,5 Volt à 2,5 bar à 10 kp Maximalkraft am Druckzylinder. Dabei geht der Steuerwert vom Rechner herkommend von 0 bis 1.

Auf demselben Menüblatt wird „Shut Off“ auf „On“ gesetzt mit dem „Shut Off-Level“ 0,0. „Parameter Setting“ muss auf „Custom“ stehen.

Alle Programmiervorgänge sind immer mit „Write“, „Copy“ und „Close“ abzuschließen.

Um den rampenfreien Anfangszustand zu erhalten, muss das Menüblatt „Parameter“ „Control“ aufgerufen werden. Dort sind unter „Vorward Offset“/“Proportional Gain“/“Integration Time“ geeignete Werte einzusetzen.

In langen Versuchsreihen sind diese Werte erarbeitet und optimiert worden und zwar immer mit dem Ziel, dass die Kraftkurve direkt linear aus der Nulllage heraus der linear ansteigenden Steuerkurve folgt. Wie die Versuche immer wieder gezeigt haben, ist dies nur möglich, wenn zwischen dem Kraftsensor und dem Zylinderstempel eine feste Verbindung mit einer Metallschiene besteht. Diese Verbindung muss wegen den verschiedenen Größen der Testpersonen variabel und anpassbar sein. Andere Verbindungen wie Ketten aus Plastik oder

auch Metall oder Hanf- und Lederseilzüge sind zu vermeiden, da sie bei gerade ganz kleinen Anfangskräften in ihrem Verhalten unstetig sind.

Die ermittelten Optimalwerte sind: VORWARD OFFSET 2
PROPORTIONAL GAIN 7
INTEGRATION TIME 0,15

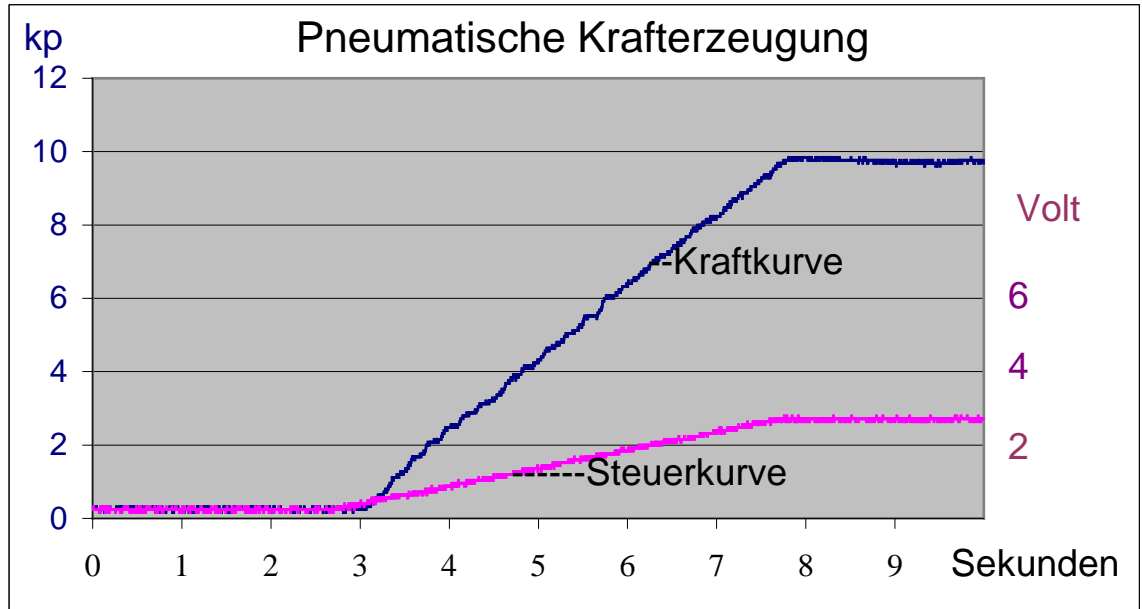


Bild 10

Es ist noch zu beachten, dass die Kraftkurve grundsätzlich nicht ganz von 0 ausgehen kann. An der Handschlaufe am Gelenk der Testperson hängt bereits im Ruhezustand, also bei 0 kp Zugkraft des pneumatischen Zylinderstempels, das Gewicht des Kraftsensors, das Gewicht des Zylinderstempels und das Gewicht der metallenen Verbindungsschiene. Die ersten beiden haben zusammen etwa 42 p, was bei den Tests kaum ins Gewicht fällt. Die Metallschiene muss daher in der gleichen Größenordnung bleiben, was aber in Alu-Ausführung erreichbar ist. Somit kann also dieses Grundgewicht unter 0,1 kp bleiben, was bei 10 kp Maximalkraft z.B. weniger als 1% bedeutet und mit einem Faktor 10 unter der Haftreibungslösung liegt.

Die Berücksichtigung der Metallschiene für die Anfangskraft kann entfallen, wenn sie unterhalb des pneumatischen Zylinders also zwischen Bodenbefestigung und dem Zylinder angebracht wird. Dies ist die Testversion.

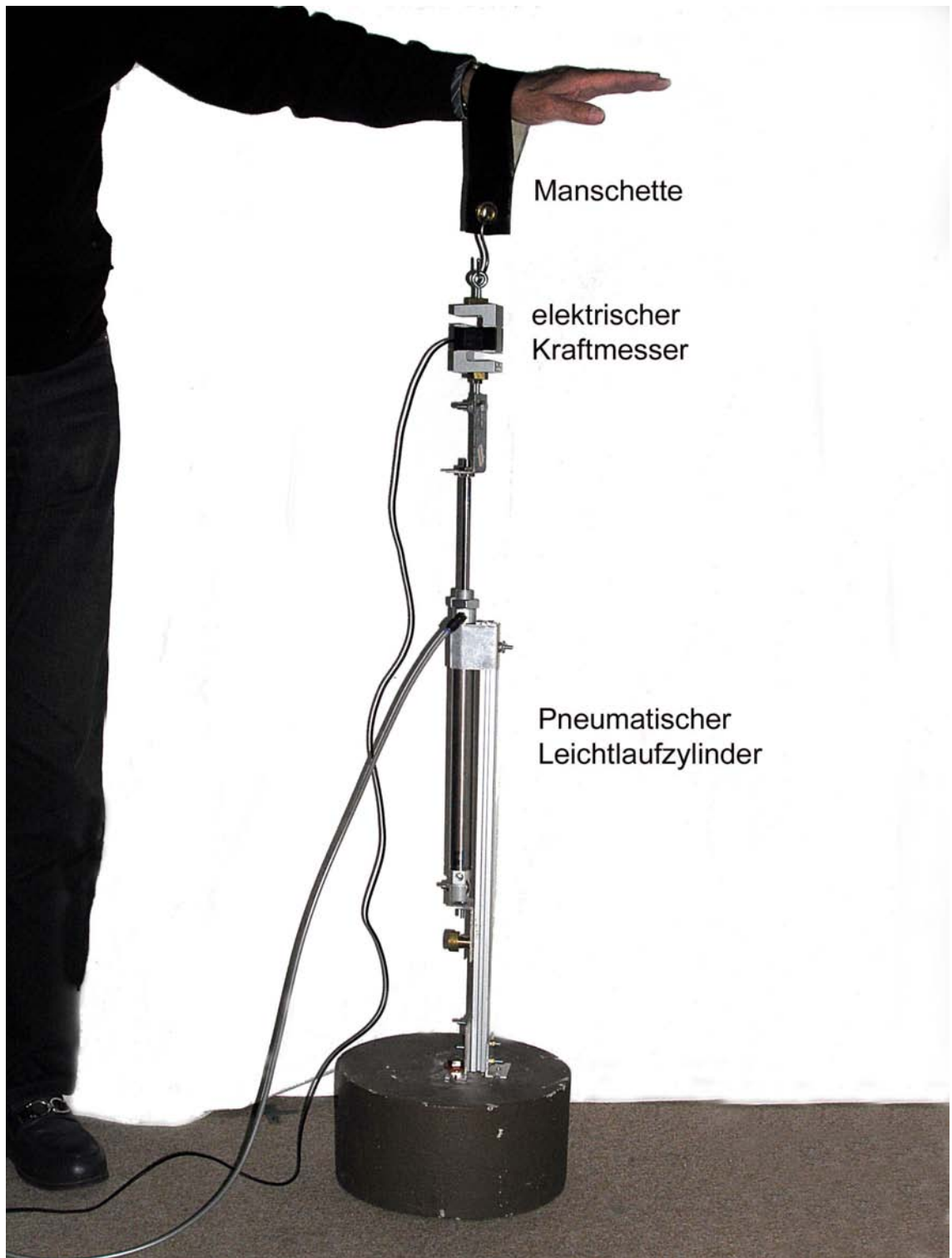


Bild 11

11. Die Motorlösung (Prof. Dr. K. Baur, 25.09.2006)

Wie bereits in Abschnitt 4 angedeutet, zeigt die Lösung des Problems mit einem Elektromotor ebenfalls positive Aspekte. Um entsprechende Erfahrungen auf diesem Gebiet einzubringen, wurde die Firma Woltz angesprochen, die Herrn Erb auf uns aufmerksam machte. Seine Mitwirkung ist für uns von großem Nutzen.

Herr Erb hielt für uns hauptsächlich den Drehfeldmotor für brauchbar und brachte aus seinem Bereich verschiedene Exemplare zur Erprobung, natürlich

mit dem nötigen Beiwerk wie Spindel auf der Motorachse, Frequenzumsetzer und Verbindungselemente zum Kraftsensor. Herr Passenheim bearbeitete wieder die Schnittstelle zwischen Steuerrechner und Frequenzumsetzer mit der Bereitstellung der benötigten Spannung.

Um die nötige Einsicht in die Eigenschaften des Drehfeldmotors zu bekommen, sei eine kurze Einführung geboten. Leser, die die notwendigen Kenntnisse bereits mitbringen, können selbstverständlich diesen Abschnitt überspringen.

Kurzdarstellung Drehfelderzeugung in komplexer Weise:

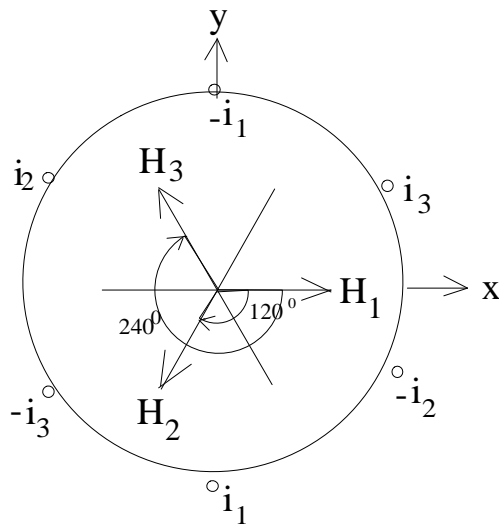


Bild 12

Mit den 3 Phasen des Drehstromes i_1, i_2, i_3 werden die 3 Statorspulen 1-1,2-2 und 3-3 beschickt. Dann baut sich im Innenraum des Stators folgendes Magnetfeld auf:

$$H_1, H_2, H_3 \quad (\text{siehe obiges Bild})$$

Damit ergibt sich für die x- und y-Komponente des Magnetfeldes:

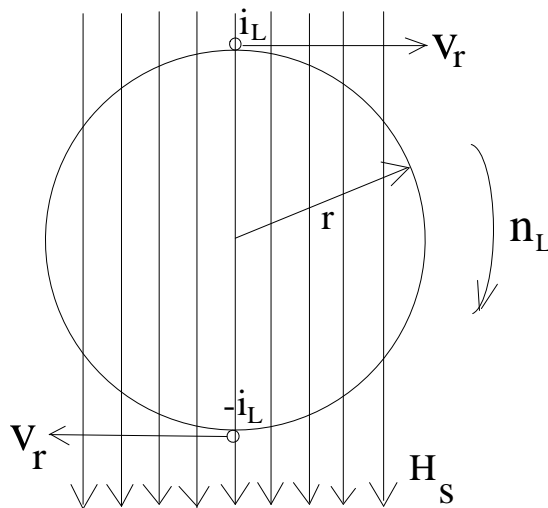
$$\begin{aligned} H_x &= Ae^{i\omega t} - A \sin(30^\circ) e^{i\omega t - i120^\circ} - A \sin(30^\circ) e^{i\omega t - i240^\circ} \\ &= Ae^{i\omega t} \left[1 - \frac{1}{2} e^{-i180^\circ} (e^{i60^\circ} + e^{-i60^\circ}) \right] = Ae^{i\omega t} [1 + \cos 60^\circ] = \frac{3}{2} Ae^{i\omega t} \\ H_y &= Ae^{i\omega t - i120^\circ} \cos 30^\circ - Ae^{i\omega t - i240^\circ} \cos 30^\circ = Ae^{i\omega t - i180^\circ} \cos 30^\circ (e^{i60^\circ} - e^{-i60^\circ}) \\ &= Ae^{i\omega t - i90^\circ} \sqrt{3} \frac{1}{2i} (e^{i60^\circ} - e^{-i60^\circ}) = Ae^{i\omega t - i90^\circ} \sqrt{3} \sin 60^\circ = \frac{3}{2} Ae^{i\omega t - i90^\circ} \end{aligned}$$

In Polarkoordinaten ist die Feldamplitude also $H_s = \frac{3}{2} A$

Und die Winkellage des Vektors

$$\varphi = \arctan \frac{\text{Realteil} H_y}{\text{Realteil} H_x} = \arctan \frac{\cos(\omega t - 90^\circ)}{\cos \omega t} = \arctan \frac{\sin \omega t}{\cos \omega t} = \omega t$$

Das Magnetfeld dreht sich mit der Frequenz der Speisespannung.



Kurzdarstellung des Drehfeldmotors mit Kurzschlussläufer:
Bild 13

Im Innenraum des Stators befindet sich der Rotor (siehe obiges Bild)
Er liegt mit seinen Leitungswindungen im Statorfeld und es gilt für das Magnetfeld:

$$H_s = a \cdot i_s \quad \text{und} \quad B_s = \mu_0 H_s \quad i_s \text{ ist der Statorstrom}$$

Wird durch die Rotorwindung ein Strom geschickt, dann kommt die Lorentzkraft sofort zur Wirkung und treibt den Rotor an. Meist wird jedoch als Rotor ein Kurzschlussläufer verwendet, bei dem die ganze Stromzuführungsmechanik wegfällt.

Um den Strom i_L im Kurzschlussläufer zu erzeugen, findet die Lenz'sche Regel Anwendung. Sie lautet

$$U_L = l v_r B_s$$

$$v_r = 2\pi r (n_s - n_L)$$

wobei l die Läuferlänge und v_r die Läufergeschwindigkeit mit $n_s = \frac{\omega}{2\pi}$ der Drehfrequenz

von B_s und n_L die Drehfrequenz des Rotors ist. Mit dem Innenwiderstand R der

Kurzschlussleitung wird der Kurzschlussstrom $i_L = \frac{U_L}{R}$ oder

$$i_L = \frac{l 2\pi r}{R} (n_s - n_L) B_s = \mu_0 \frac{l 2\pi r}{R} (n_s - n_L) H_s = b \cdot n_s \cdot s \cdot i_s$$

wobei b eine Gerätekonstante und $s = \frac{n_s - n_L}{n_s}$ der sogenannte Schlupf ist. Mit diesem

Strom wirkt auf die Läuferleitung die Lorentzkraft $K_L = i_L \cdot B_s \cdot l$

Somit ist das Motordrehmoment

$$M = K_L \cdot r = i_L \cdot a \cdot \mu_0 \cdot i_s \cdot l \cdot r$$

$$= a \cdot \mu_0 \cdot r \cdot l \cdot b \cdot n_s \cdot s \cdot i_s^2 = c \cdot n \cdot s \cdot i_s^2$$

mit der Gerätekonstanten c und hängt also direkt ab von der Frequenz n_s des Speisestromes, dem Schlupf s und dem Quadrat des Speisestroms i_s .

Um die Kraft als Ersatz für den kinesiologischen Tester zu erhalten, wurden verschiedene Überlegungen angestellt. Der erste Durchbruch wurde erzielt, als auf die Rotorachse des Drehfeldmotors eine Spindel von etwa 2 cm Durchmesser aufgesetzt, auf dieser Spindel das Seil aufgewickelt und das andere Ende des Seils senkrecht zum Kraftsensor geführt wurde. Will man eine Kraft von 10 kp oder 100 N erzeugen, dann ist dazu hier nur ein Drehmoment von 1 Nm nötig. Mit unseren Mitteln war die Erzeugung von 5 Nm kein Problem.

Da es bei unseren Versuchen immer darum geht, die Kraft bei fester Seillänge von Null aus meist linear ansteigen zu lassen –die Testperson hält ihren Arm solange es geht in 90° Abduktion- wird der Motor im Stillstand, also $n_L = 0$, betrieben. Dadurch hat der Schlupf den Wert 1. Es ist daher zweckmäßig und oft gebräuchlich, zum Ansteigen des Drehmoments das n_L , also die Drehstromfrequenz, für die H-Feld-Erzeugung zu nehmen.

Zu diesem Zweck wird ein sog. Frequenz-Umformer (FU) genutzt, der auf digitale Weise die gewünschte Schwingung mit ihren um 120 Grad verschobenen Komponenten erzeugt.

Der FU wird dazu mit einer von 0 aus linear ansteigenden Spannung gesteuert, die wiederum vom Rechner her initiiert wird (Der FU liefert dann eine von 0 an ansteigende Frequenz). Wie im Bild Seite 6 geschieht dies in der Steuerelektronik, wenn man dort das Regelventil durch den FU und den Druckzylinder durch den Drehfeldmotor ersetzt.

Wie im pneumatischen Fall muss zum Beginn eines Testvorganges die zu erzeugende notwendige Maximalkraft voreingestellt werden, indem im FU die dazu erforderliche höchste Frequenz und dafür die maximale Steuerspannung für den FU erzeugt wird. Hierfür gibt es eine lineare Eichkurve, die alle Parameter der Anlage umfasst und vom Ursprung 0 aus z.B. bei 5 Volt den Kraftwert 8 kp erreicht.

Die Krafterzeugungsversuche erfolgten zunächst mit einer direkten Seilverbindung von der Motorspindel zum ortsfesten Kraftsensor. Die dabei aufgetretenen Unregelmäßigkeiten in der linear ansteigenden Kraftkurve wurden den Motor- und FU-Eigenschaften zugesprochen. Bei kleinen Kräften muß der Motor erst anlaufen, hat also einen parabelhaften Beginn; im Mittelbereich tauchten leichte nicht erwünschte Schwankungen auf. Für Verbesserungen wurden zwischen Seilzug und Kraftsensor Gummibänder und Gummischüre der verschiedensten Ausführungen eingesetzt. Es war kein Erfolg beschieden.

Als zweiten Durchbruch kann die Idee angesehen werden, eine geeignet lange Spiralfeder einzusetzen. Sie sollte über ihre Längendehnung die ganze lineare Kraftentfaltung übernehmen. Der Motor hat nur die Aufgabe, nach Einschalten sich konstant zu drehen und die Feder gleichmäßig linear auseinander zu ziehen und damit am Kraftsensor eine linear ansteigende Kraft auszubilden.

Mit den üblichen Federn ist das aber nicht ohne weiteres möglich. Sie sind gewöhnlich so aufgebaut, dass ihre Windungen eng aneinander liegen und erst eine gewisse Zugkraft aufgebracht werden muss, um die Windungen voneinander zu lösen. Erst dann beginnt der lineare Federzugbereich. Herr Erb hat das Problem dadurch gelöst, dass er die 20 cm lange Feder vorsichtig sehr stark gedehnt hat und zwar etwas über den reversiblen Bereich hinaus. Beim

anschließenden Zusammenziehen der Feder blieben dann ganz geringe Abstände der Windungen zurück, so dass jetzt eine lineare Kraftentfaltung von Anfang an gewährleistet ist. Allerdings ist darauf bei der eigentlichen Federdehnungen im Rahmen der kinesiologicalischen Tests zu achten, dass der reversible Bereich nicht wieder überschritten wird.

Das Ergebnis ist im folgenden Bild als Beispiel dargeboten.

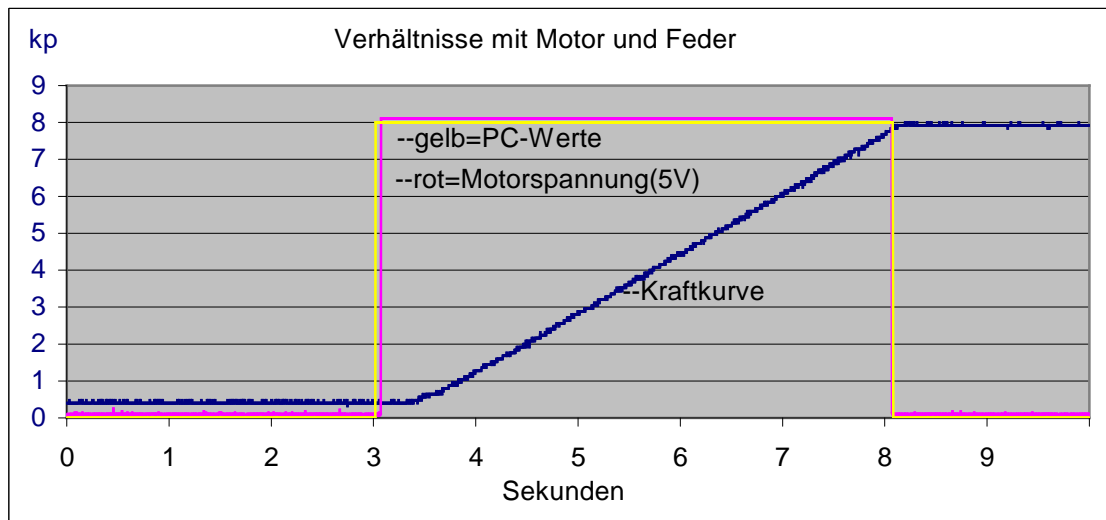


Bild 14

Dabei wird die Maximalkraft von 8 kp mit 5 Volt festgelegt. Die Kraftkurve ist von bestechender Linearität und Glattheit. Dies verdankt sie nur den gewohnten mechanischen Federeigenschaften, die offenbar die Motorunregelmäßigkeiten gut ausgleichen können.

Ganz bei 0 kann die Kraftkurve allerdings nicht beginnen, da das Gewicht der Feder mit ca. 0,5 kp den Anfang festlegt. Um den Motor von Beginn an konstant drehen zu lassen, muss die Rechnersteuerung sofort auf 1 und die FU-Steuerung sofort auf 5 Volt springen. Dies wird erreicht, wenn man den Exponenten n der Steuerkurve im Rechner auf 0 setzt. Die Maximalkraft soll nach 5 Sekunden erreicht sein. Um dann nicht weiter zu steigen wird der Motor abgeschaltet und gebremst. Letzteres ist besonders wichtig, da der Motor sonst von der Feder zurückgezogen wird. Erst nach Ablauf des 10 Sekundentestes wird über einen Schalter die Rückspulung des Seiles und die Entspannung der Feder in Gang gesetzt.

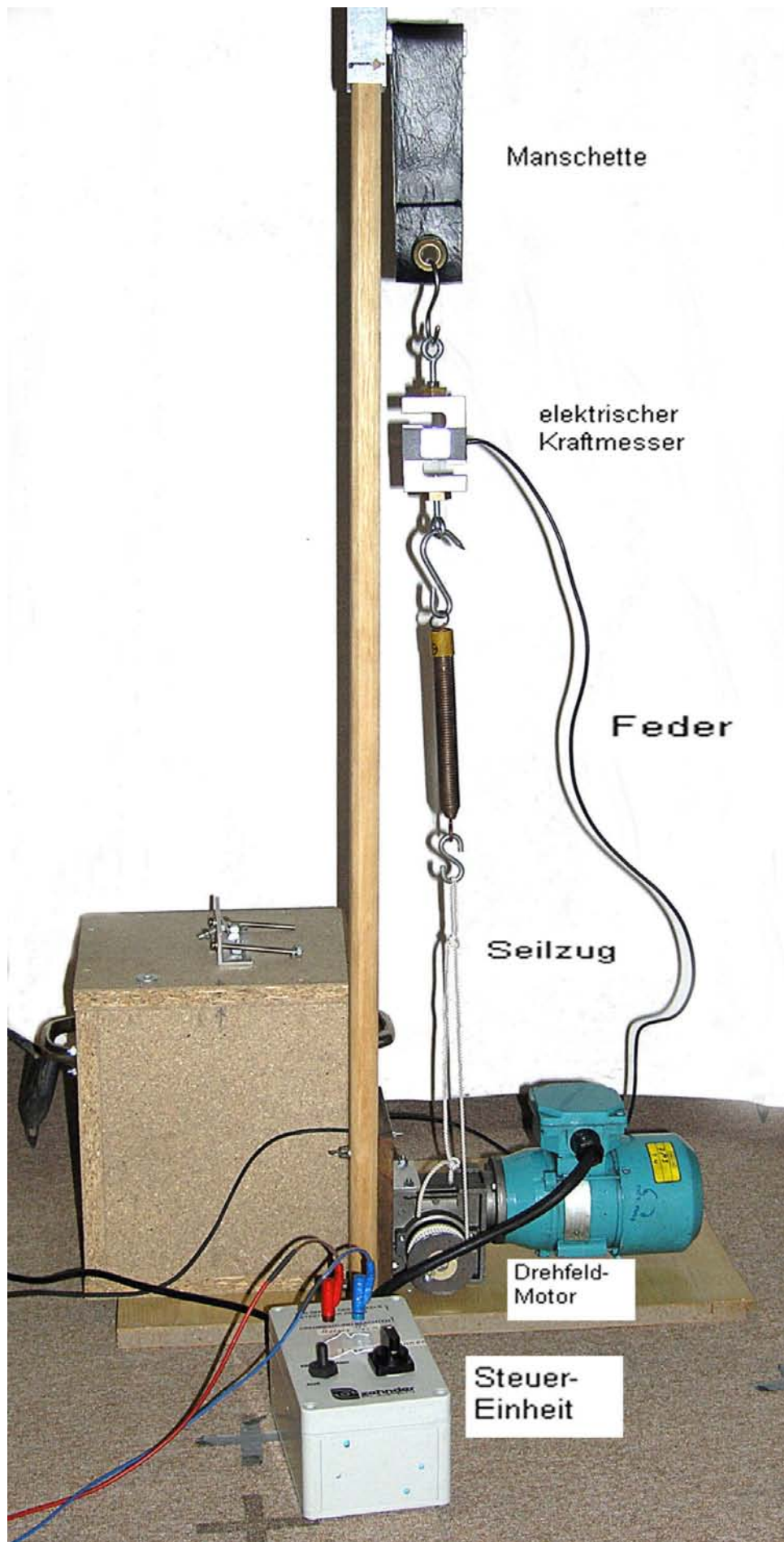


Bild 15

Alle diese Parameter sind fein aufeinander abgestimmt. Vor allem ist dabei auch berücksichtigt, dass die Feder 20 bis 25 cm ausziehbar ist, um beim kinesiologicalen Armtest dem absinkenden Arm der Testperson einen ausreichenden Spielraum zu lassen.

Da bei dem vorgestellten Verfahren die maximale Armkraft der jeweiligen Testperson nicht im gleichen Arbeitsgang mit dem Test selber ermittelbar ist, hat Herr Fliege ein Zusatzprogramm entwickelt, mit dem getrennt vom eigentlichen Test in rekursiver Form auf den besagten Wert hingearbeitet werden kann.

In der endgültigen Verfahrensversion wird aus Einfachheitsgründen für den Motorantrieb immer mit dergleichen Maximalspannung von 5 Volt gearbeitet, die in 5 Sekunden die erforderliche Federausdehnung und damit die Maximalkraft erreichen lässt. Die unterschiedlichen Maximalkräfte werden dagegen mit verschiedenen, entsprechend dimensionierten Federn erreicht, die auf die hierbei erforderlichen Größen 6, 8, 10, 12 und 14 kp ausgelegt sind.

Es wäre auch ohne weiteres möglich, die Kraftkurve im vorangegangenen Bild von fast 0 ausgehen zu lassen. Zu diesem Zweck wäre es notwendig, die Feder weiter nach oben - also zwischen die Handschlaufe und den Kraftsensor - zu verlegen. Dies ist aber nicht sinnvoll, da dabei dann Unregelmäßigkeiten des Motorlaufes wieder direkt auf den Kraftsensor wirken könnten. Außerdem können kleine schnelle Schwankungen des Armes beim kinesiologicalen Test nicht wahrgenommen werden, da diese von der Trägheit der Feder geschluckt und somit von dem Kraftsensor ferngehalten werden. Für den Arm der Testperson wäre ein solcher Wechsel nicht von Bedeutung, da ja die Ruhekraft in jedem Fall erhalten bliebe. Die Verzögerung der Kraftkurve im genannten Bild gegenüber der Motorspannung ist insofern verständlich, da der Motor ja nach dem Einschalten erst anlaufen muß.

12. Die Tauchspulenlösung (Prof. Dr. K. Baur, 12.12.06)

In Abschnitt 4 wurde bereits auf die Möglichkeit hingewiesen, dass mit einer Tauchspulenlösung ebenfalls gearbeitet werden kann. Sie zeigt wie bei der pneumatischen Methode eine direkt verwendbare Kraftentfaltung im Gegensatz zur Motorlösung, bei der ja eine Umlenkung benötigt wird. Bei dieser Lösung ist auf diverse Merkmale zu achten, und es ist gar nicht so selbstverständlich, eine geeignete Version einer Tauchspule zu finden. Der freundlichen Hilfe unseres Nachbarn, nämlich des „Telefunkenmuseums“, ist es zu danken, dass aus Beständen der ehemaligen Rechner- und Speichertechnik ein brauchbares Exemplar gefunden werden konnte.

Es zeichnet sich aus durch einen ausnutzbaren Hub von ca 15 cm und einer außergewöhnlich stabilen Längsführung. Allerdings ist zur Erzeugung von den hier benötigten Kräften bis 10 kp und mehr eine erhebliche Stromstärke von mehreren Ampere erforderlich. Das begrenzt natürlich die Nutzungsdauer wegen der dabei entstehenden Wärme. Da der Kinesiologentest gewöhnlich in der Hauptphase 3 bis 5 Sekunden nicht überschreitet, ist dieses Problem verkraftbar. Im übrigen wird auf einen Vorschlag von Herrn Erb die Tauchspule mit einem Ventilator gekühlt.

Für die Ansteuerung der Spule mit ihrem hohen Strombedarf ist von Herrn Passenheim mit Unterstützung durch Herrn Fliege eine geeignete Transistorschaltung entwickelt worden. Ihr Eingang wird von der schon für die Pneumatik erarbeiteten Spannungserzeugung bedient, die ja wiederum vom Rechner her angefahren wird. Daher kann dann mit dem bereits vorhandenen

Potentiometer der Spannungserzeugungsschaltung die Spulenspannung den Erfordernissen angepasst werden.

Die Einzelheiten zu dieser Leistungsstufe können dem Diagramm von Herrn Fliege entnommen werden.

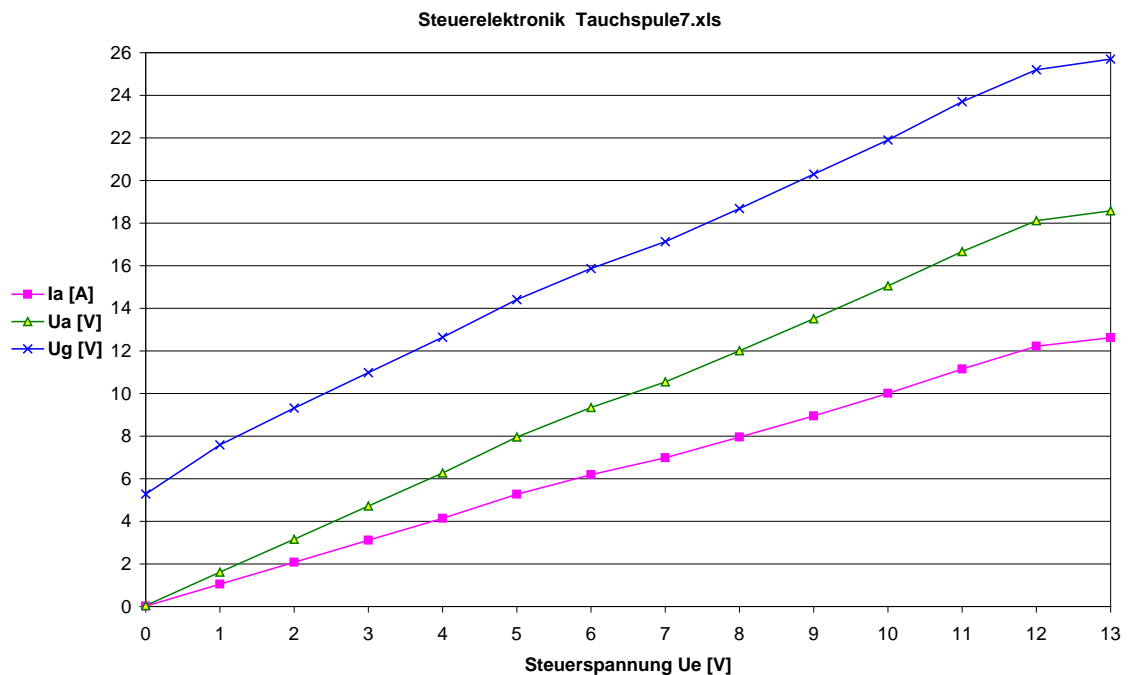


Bild 16

Er führt zu dieser Darstellung noch folgendes aus:

Sie zeigt die elektrischen Eigenschaften des von Herrn Passenheim aufgebauten Ansteuermoduls, das aus der rechnergesteuerten A/D-Wandler-Schaltung mit der Steuerspannung U_e die notwendige Stromstärke I_a für die Tauchspule liefert. In der Leistungsstufe ist das Modul mit der Leistungs-MOSFET-Transistorkombination MG200Q2YS50 von TOSHIBA bestückt, die von Herrn Erb beigesteuert wurde.

Im EXCEL-Diagramm sind die Ausgangsgrößen I_a , U_a und U_g über der einseitigen Steuerspannung U_e aufgezeichnet. I_a ist der Strom, der in der Tauchspule fließen kann, U_a ist die entsprechende Spannung an der Tauchspule. Der Verstärkungsfaktor wurde so eingestellt, dass mit $U_e = 10$ V ein $I_a = 10$ A erreicht wird, es kann aber auch ein anderer Proportionalitätsfaktor eingestellt werden. Man sieht, dass ab $U_e = 12$ V die Linearität in eine Sättigung übergeht und man sollte nicht in diesem Bereich arbeiten. Wenn man gerade darunter bleibt, können knapp 10 kp an Kraft von der Tauchspule erzeugt werden. In das Diagramm wurde auch die Gatespannung U_g eingezeichnet, die die Leistungsstufe benötigt um den Ausgangsstrom I_a zu erzeugen. Wie man sieht, liegt diese Spannung U_g über 6 V höher, als die Ausgangsspannung U_a . Dieser hohe Wert ist der Grund dafür, dass keine höheren Werte I_a und U_a erreicht werden können. Ein anderes Transistormodul in Emitterschaltung hätte diesen Nachteil nicht gehabt und wurde deshalb auch erprobt und wieder verworfen, weil die Schwingneigung der Schaltung nicht zu beseitigen war. Aus heutiger Sicht ist nun das Ansteuermodul für die Tauchspule für die späteren Versuche voll geeignet.

Wie sich nun die Kraftwirkung der Tauchspule in die kinesiologische Gesamtanordnung einbindet zeigt folgendes Bild.

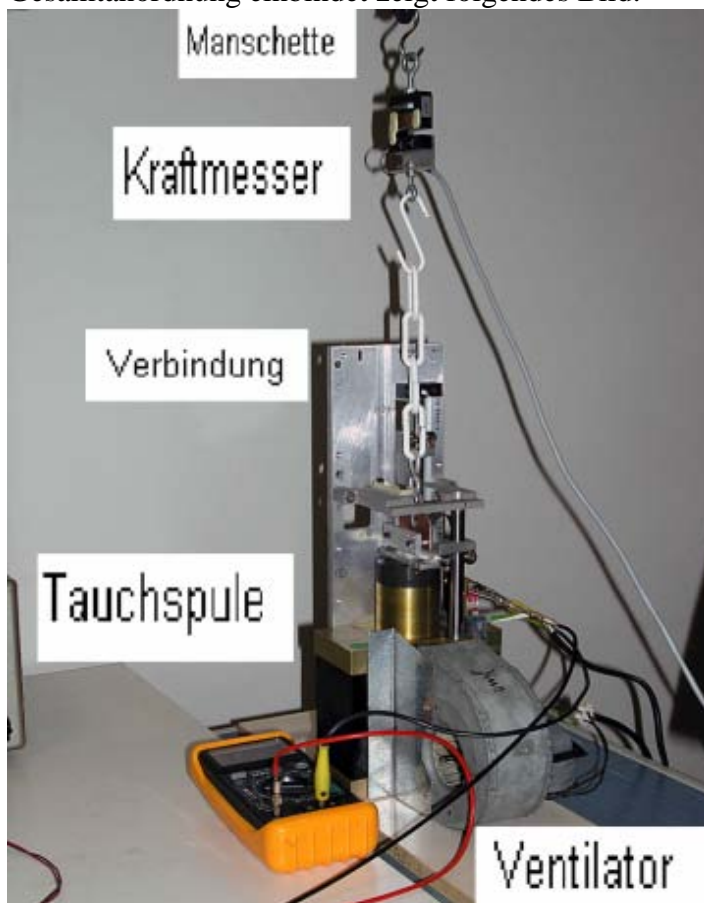


Bild 17

Auch für diesen Tauchspulenfall wurde eine statische Vermessung vorgenommen. Dazu wird die obere Aufhängung des Kraftmessers fixiert. Dann kann durch eine linear ansteigende Vorgabe vom Rechner her die Güte der Linearität der Kraftkurve beurteilt werden. Es zeigt sich, dass diese sehr gut ist, wenn man alle Verbindungen in der Aufhängung von der Manschette bis zur Tauchspule hin aus festen Materialien wie Stahlhaken, eisernen Spannschlössern oder Metallketten versieht und Plastikteile oder Gummiteile vermeidet. Des weiteren kommt es darauf an, auf die anfängliche Eintauchtiefe der Tauchspule zu achten. Es ist leicht einzusehen, dass bei kleiner Eintauchtiefe die Kraftentfaltung nicht voll zur Wirkung kommen kann und ca. 15% unter der Kraft liegt, die dann ab einer Eintauchtiefe ab ca. 5 cm ihre volle Größe entfalten kann. Dieses Verhalten kann an den zwei folgenden Diagrammen abgelesen werden

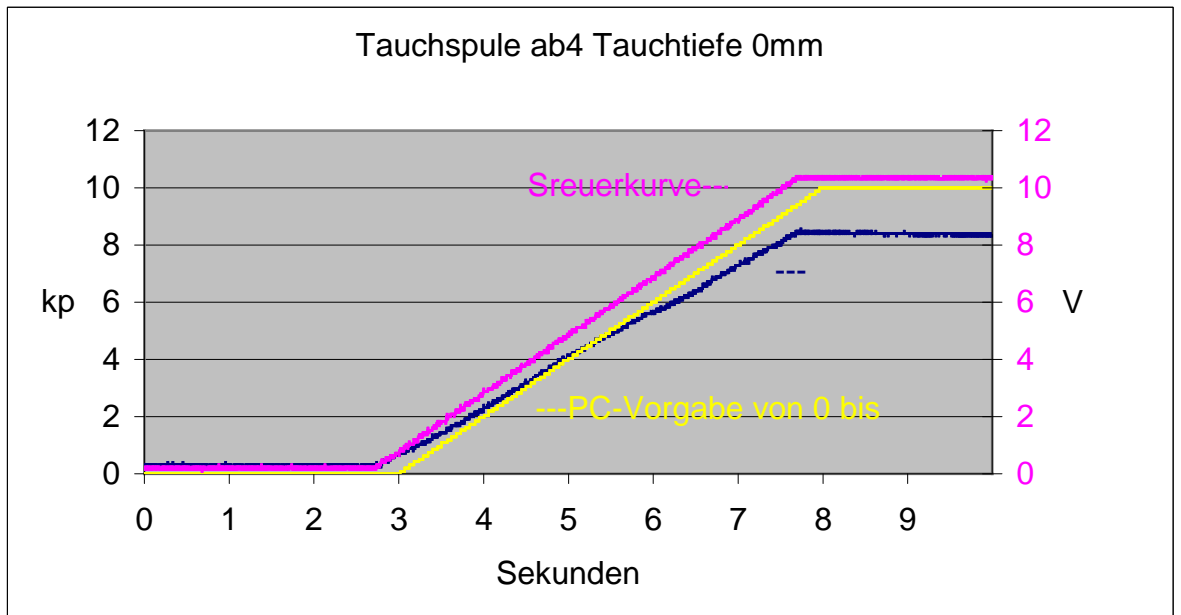


Bild 18

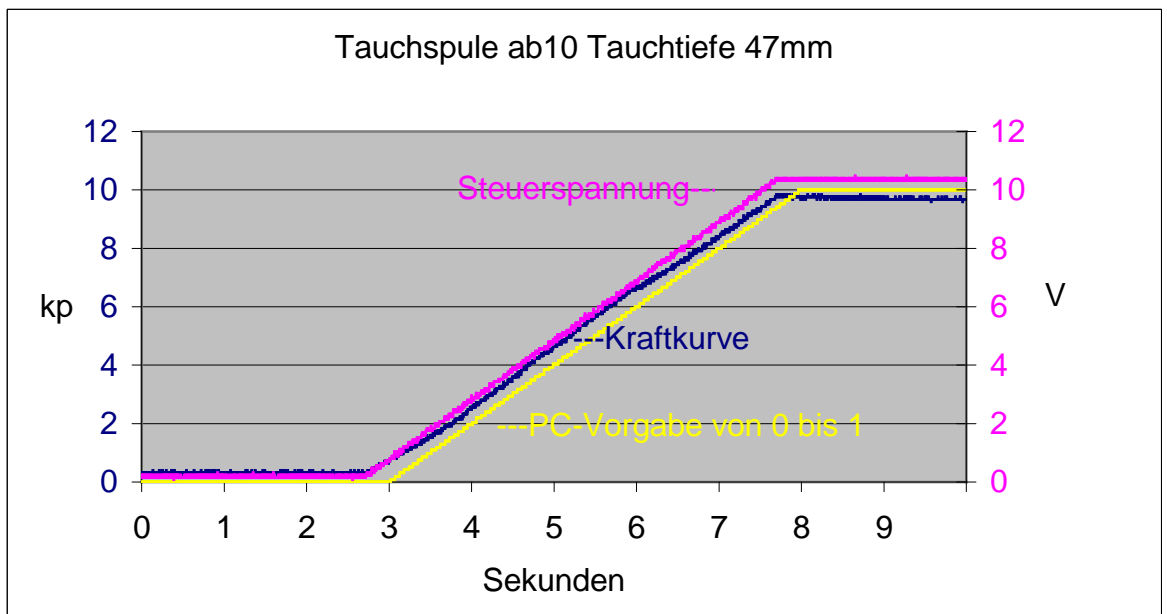


Bild 19

Durch die hier erforderlichen hohen Ströme bis 10 Ampere kommt ein Phänomen zur Wirkung, das die Kraftkurven etwas beeinträchtigen kann. Wenn der hohe Strom längere Zeit wirksam ist, dann wird die Tauchspule wie bereits erwähnt erwärmt und der Spulenwiderstand erhöht sich. Bei gleichbleibender Ansteuerspannung sinkt dann mit der Zeit der Spulenstrom und die Kraft auf die Tauchspule muss absinken. Wie die beiden Bilder aber zeigen, ist dieses Absinken in der hier kurzen Zeit von 2 Sekunden nicht bemerkbar. Für das Einstellen der Krafthöhe zu Beginn einer Messreihe mit einer Testperson sollte aber auf dieses Phänomen Rücksicht genommen werden.

Wie bei den beiden anderen Verfahren kann auch hier bei der Kraftentfaltung nicht von Null ausgegangen werden, wenn die Ansteuerung 0 Volt beträgt. So muss hier der Arm der Testperson im Anfangszustand sowohl ja das Gewicht des Kraftsensors aber auch das Gewicht der Tauchspule halten. In der Summe handelt es sich um ca. 0,2 kp. Die Tauchspule liegt daher zwischen der Pneumatik- und der Motor-Lösung.

