

Diplomarbeit

Entwicklung und Integration einer Haptik-Prüfeinrichtung

von

Martin Schäfer

Fachgebiet der Diplomarbeit: Meßtechnik

Referent: Prof. Dipl.-Ing. W. Grieb

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. A. Müller

Durchgeführt bei Firma VDO Car Communication Germany GmbH

Betreuer: Dipl.-Ing. J. Bächis

Fachhochschule Gießen-Friedberg

Bereich Gießen

Fachbereich Elektrotechnik I

Informationstechnik

Wetzlar, im Juli 1999

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Vorstellung des optischen Meßsystems	5
2.1	Optische Messung und Positionierung	5
2.2	Die Steuerungssoftware des Meßsystems	7
3	Theorie der Kraft-Weg-Messung an Tastaturen	9
3.1	Meßobjekte	9
3.2	Kraft-Weg-Kurvenverlauf	11
3.3	Spezifikation der Haptik-Prüfeinrichtung	12
4	Komponenten-Auswahl	14
4.1	Vorstellung des Kraftaufnehmers und Meßverstärkers	14
4.2	Vorstellung des linearen Positionierers	15
4.3	Vorstellung der Delphi-Entwicklungsumgebung	16
5	Integration der Haptik-Prüfeinrichtung	18
5.1	Elektrische Integration	18
5.2	Mechanische Integration	19
5.3	Integration der Software mit Ablaufsteuerungsmodul „XDrv“	19
6	Software	22
6.1	Die Steuerungssoftware des Spannungsgenerators	22
6.2	Die Steuerungssoftware der Videogeneratorkarte	25
6.3	Aufgaben der Software für die Haptik-Prüfeinrichtung	27
6.3.1	Das Projekt „F/d measurement“	28
6.3.1.1	Unit „main.pas“	29
6.3.1.2	Unit „graf.pas“	39

7	Meßergebnisse und Kalibrierung	43
	7.1 Unit „cali.pas“	43
	7.2 Kalibriermessung mit verschiedenen Prüfmassen	46
	7.3 Betrachtung der Meßergebnisse	51
8	Zusammenfassung	53
9	Summary	54
	ANHANG	55

Verzeichnis der Bilder

2-1	5-Achsen-Positioniersystem für optische Messung	6
2-2	Anvisierter Meßpunkt auf dem Monitor	6
2-3	Das Dialogfenster „Parameter“	7
3-1	Ausführung einer Taste in Schalmatten-Bauart	9
3-2	Typischer Kraft-Weg-Kurvenverlauf	11
4-1	Das Haptik-Modul	16
4-2	Beispiel einer „Delphi“-Komponente	17
5-1	Blockschaltbild des Haptik-Moduls	18
6-1	Software Module	22
6-1	Bedienoberfläche des Programms „NGSM“	24
6-3	Bedienoberfläche des Programms „VTG1135“	27
6-4	Hauptaufgaben der Software für die Haptik-Messung	28
6-5	Aufteilung des Projekts „F/d measurement“	29
6-6	Die Unit „main.pas“ des Projekts „F/d measurement“	30
6-7	Die Verknüpfung zur „Parameter“-Tabelle	34
6-8	Struktogramm des Meßvorgangs	36
6-9	Verarbeitung der Meßwerte	37
6-10	Die Bedienoberfläche der Unit „main.pas“	38
6-11	Die Bedienoberfläche der Unit „graf.pas“	41
7-1	Ermittlung des Umrechnungsfaktors k	45
7-2	Spannungswerte für Prüfmasse 1000 g	46
7-3	Relative Abweichung Dk vom Mittelwert	48
7-4	Maximale relative Abweichung	49
7-5	Maximale absolute Abweichung	49
7-6	Relative Abweichung der Kraft-Mittelwerte	50
7-7	Vergleich der Kraftaufnehmer-Bauformen	52

1 Einleitung

Gestellt wurde das Thema der Diplomarbeit „Entwicklung und Integration einer Haptik-Prüfeinrichtung“ von der Firma VDO Car Communication Germany GmbH, einem Tochterunternehmen des Mannesmann-Konzerns, mit Sitz in Wetzlar.

In der Entwicklungsphase neuer Produkte, z. B. neuer Radio-Gerätefronten, sind Messungen an der Tastatur dieser Produkte von immer größer werdender Bedeutung, da die Automobilhersteller verstärkt ein einheitliches Betätigungsgefühl (Taktilität) für alle Tasten der verschiedenen Komponenten im Fahrzeuginterieur fordern. Aufgenommen werden bei diesen Haptik-Messungen (Haptik bedeutet: „Tastsinn betreffend“) der Kraft-Weg-Verlauf von Tastaturen, der von einigen Kunden genau spezifiziert wird. Mit großem Aufwand verbunden ist hierbei unter anderem das präzise Positionieren eines Kraftaufnehmers vor der jeweils zu messenden Taste einer Gerätefront. Deshalb war Ziel der Diplomarbeit, eine neue Komponente zur Haptik-Messung in ein bereits vorhandenes Positioniersystem zu integrieren und somit einen automatisierten Prüfablauf der Gerätefronten zu erreichen.

Kapitel 2 beschreibt darum zunächst ein vorhandenes optische Meßsystem, welches dieses Positioniersystem nutzt.

Im nächsten Kapitel werden dann die Tasten, die für die verschiedenen Geräte verwendet werden, zusammen mit einem typischen Diagramm des Kraft-Weg-Verlaufs vorgestellt, um davon die Anforderungen für das zu entwickelnde Haptik-Modul ableiten zu können.

Im Anschluß daran folgt eine Vorstellung der für das Haptik-Modul verwendeten Komponenten und die Darstellung der mechanischen bzw. elektrischen Integration des Moduls in das Positioniersystem.

Die Steuerungs- und Auswertesoftware, die mit den Entwicklungsumgebungen „Delphi 1“ und „Delphi 2“ erstellt wurde, ist Thema des in dieser Arbeit umfangreichsten 6. Kapitels. Hier werden auch auf Steuerungsprogramme für einen Spannungsgenerator und eine Videogeneratorkarte eingegangen, die ebenfalls in das vorhandene optische Meßsystem integriert wurden, um dessen Meßablauf weiter zu automatisieren.

Die Diskussion der Meßergebnisse hinsichtlich ihrer Genauigkeit und die Kalibrierung des Kraftmeßsystems bilden den Abschluß der Arbeit.

2 Vorstellung des optischen Meßsystems

In den folgenden zwei Abschnitten werden zunächst ein vorhandenes optisches Meßsystem und die dazugehörige Steuerungssoftware beschrieben. Für die Haptik-Messung interessant sind vor allem das Positioniersystem des optischen Meßsystems und die Steuerungssoftware. Das Positioniersystem soll auch für die Haptik-Messung genutzt werden. Dazu ist es notwendig eine Verknüpfung zu der Steuerungssoftware herzustellen.

2.1 Optische Messung und Positionierung

Die optische Kontrolle der Display- und Tastaturbeleuchtungen ist ein wichtiger Bestandteil in der Entwicklungs- und Freigabephase eines Gerätes. Zu der Produktpalette der Firma VDO Car Communication gehören hauptsächlich Audio- und Navigations-Komponenten. Ziel dieser Kontrolle ist es, ein einheitliches visuelles Erscheinungsbild, speziell für das Nachtdesign, aller in einem Fahrzeug enthaltenen Komponenten zu gewährleisten. Die Durchführung der optischen Messungen erfolgt mit einem System, bestehend aus folgenden Komponenten (die ersten beiden zeigt Bild 2-1):

- Schrittmotorgesteuerte 5-Achsen-Positionieranlage (bestehend aus 3-Achsen-Positioniersystem und 2-Achsen-Goniometer)
- Teleskop-Optik mit integrierter Videokamera
- Spektrumanalysator
- Personal Computer (PC) mit einer Auswerte- und Steuerungssoftware

Im folgenden werden die Arbeitsschritte für die Prüfung am Beispiel einer Tastatur-Hintergrundbeleuchtung beschrieben. Hierbei werden unter anderem physikalische Größen wie die Leuchtdichte oder Wellenlänge erfaßt.

Zuerst wird der Prüfling (z. B. ein Autoradio) in das 2-Achsen-Goniometer eingespannt. Diese Halterung ermöglicht es, das Gerät während der Messung um seine Horizontal- und Vertikal-Achse zu drehen. Dadurch können auch Aussagen über die photometrischen Größen (z. B. Kontrastverhältnis) aus Fahrer- und Beifahrerwinkeln gemacht werden. Anschließend müssen nun die Positionen jeder zu messenden Taste der Gerätefront aufgenommen werden.

Hierzu dient die 3-Achsen-Positionieranlage, an deren vertikaler Achse die Teleskop-Optik mit integrierter Videokamera befestigt ist. Über einen Kontroll-Monitor ist das aufgenommene Bild der Videokamera zu sehen. Mit einem Joypad kann die Bewegung der Anlage in X- Y- und Z-Richtung und die Drehwinkel des Goniometers (α und β) gesteuert werden.

Nacheinander werden nun die einzelnen Tasten per Joypad angefahren und die Orte der Meßpunkte mit Hilfe des Monitors und eines darauf gezeigten Fadenkreuzes (s. Bild 2-2) genauestens fokussiert und bestimmt.

Zu jedem Meßpunkt werden die X-, Y- und Z-Koordinaten und die Drehwinkel α und β des Goniometers mit Hilfe der zugehörigen Steuerungssoftware in einer Tabelle gespeichert. So steht der einmal „gelernte“ Ablauf zukünftig als Meßsequenz zur Verfügung.

Die absolute Genauigkeit, mit der die Positionierung der Teleskop-Optik erfolgt, beträgt laut Hersteller $\pm 25 \mu\text{m}$.

Per Software kann nun eine solche Meßsequenz gestartet werden, die dann vollautomatisiert die einzelnen Meßpunkte anfährt. Die Teleskop-Optik führt nach dem Erreichen eines Meßpunkte die optische Messung aus und liefert die Daten an den Spektrumanalysator. Dieser verarbeitet die Daten und sendet sie anschließend an den PC.

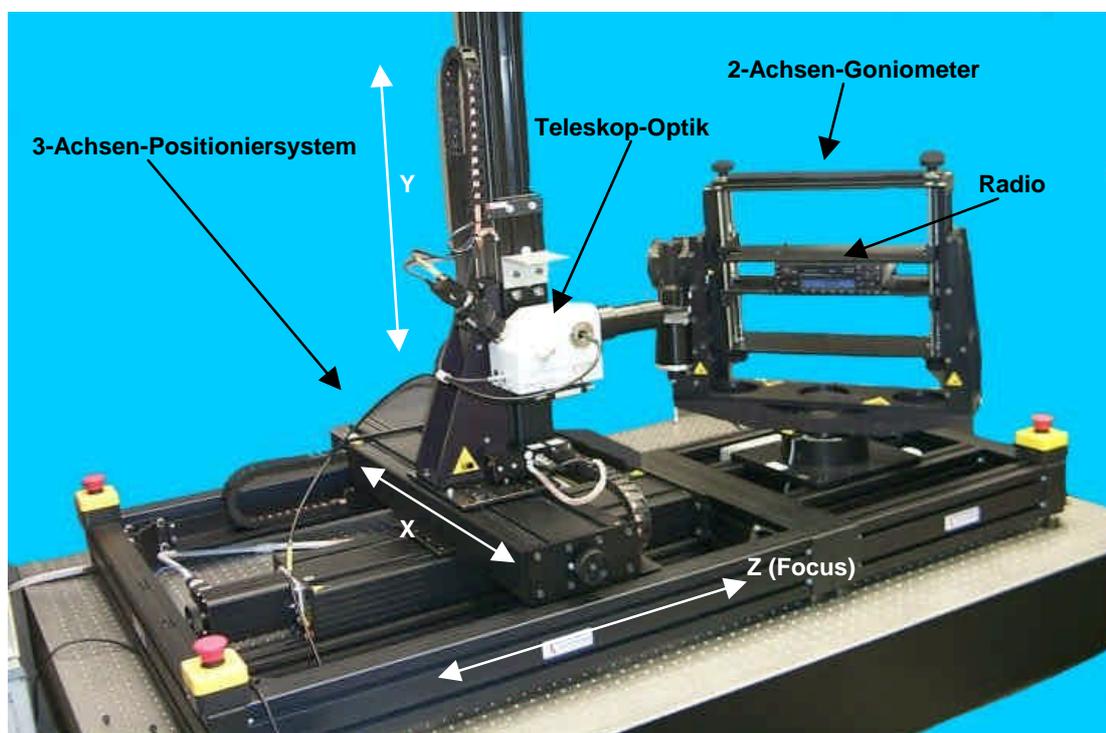


Bild 2-1. 5-Achsen-Positionieranlage für optische Messungen

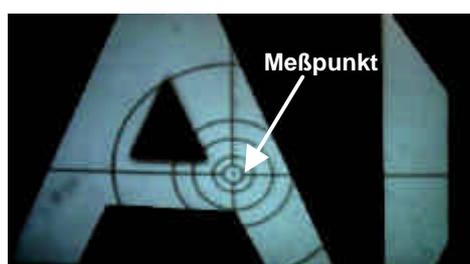


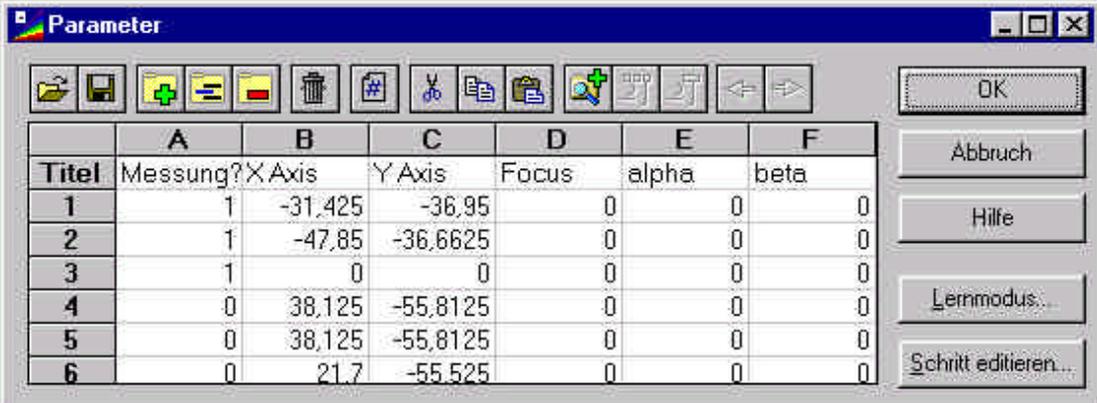
Bild 2-2. Anvisierter Meßpunkt auf dem Monitor

2.2 Die Steuerungssoftware des Meßsystems

Das Software-Programm „IS-SpecWin“ der Firma Instrument Systems, München, dient der Steuerung des im vorherigen Abschnitts beschriebenen Meßablaufs sowie der Auswertung und Darstellung der gewonnenen Meßergebnisse. Die aktuell verwendete Version ist auf den Betriebssystemen Windows 95 und Windows NT lauffähig und mit Hilfe einer gewohnten Windows-Bedienoberfläche steuerbar.

Das Augenmerk wird hier auf die Funktionen des Programmes gerichtet, welche die Positionierung der Teleskop-Optik steuern. Denn diese müssen ebenfalls für die Positionierung der Haptik-Prüfeinrichtung verwendet werden.

Das Kernstück für die Positionierung bildet das Dialogfenster „Parameter“, in dem eine Tabelle vorhanden ist, in welcher die für eine Meßsequenz benötigten X-, Y- und Z-Koordinaten (Focus) sowie die Drehwinkel (α und β) des Goniometers gespeichert werden (vgl. Bild 2-3).



	A	B	C	D	E	F
Titel	Messung?	X Axis	Y Axis	Focus	alpha	beta
1	1	-31,425	-36,95	0	0	0
2	1	-47,85	-36,6625	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0
4	0	38,125	-55,8125	0	0	0
5	0	38,125	-55,8125	0	0	0
6	0	21,7	-55,525	0	0	0

Bild 2-3. Das Dialogfenster „Parameter“

Außerdem können hier weitere Variable angezeigt und deren Werte verändert werden, so z. B. die Variable „Messung“, die anzeigt, ob bei den gespeicherten Koordinaten eine optische Messung ausgeführt werden soll oder nicht. Hat diese Variable den Wert „1“, wird eine Messung vorgenommen, hat sie den Wert „0“, findet keine Messung statt.

Eine Übersicht über alle zu einer Meßsequenz gehörenden Informationen (Benutzernamen, Kommentare usw.) und Variable bietet das Dialogfenster „Datenmanager“, welches von dem Erscheinungsbild und der Funktionsweise an die Baumstruktur des Windows-Explorers angelehnt ist. Aus diesem können außerdem weitere benötigte Variable in die „Parameter“-Tabelle geladen werden. Schließlich enthält das Dialogfenster „Parameter“ noch Schaltflächen zum Editieren der gespeicherten Koordinaten und zur Ansteuerung zusätzlicher Meßpunkte.

Die Steuerungssoftware mit den genannten Dialogfenstern ist von besonderem Interesse. Sie ist durch ein weiteres Softwaremodul der Firma Instrument Systems erweiterbar, und kann dadurch auch von der Haptik-Prüfeinrichtung und anderen Komponenten genutzt werden.

Mit Hilfe des Softwaremoduls ist es möglich, zusätzliche Variable zu deklarieren, die dann im Datenmanager erscheinen und von dort in die „Parameter“-Tabelle geladen werden können (s. Abschn. 5-2). Diese Variable stellen die Verknüpfung zwischen der vorhandenen Software und den neu erstellten Steuerungsprogrammen her.

3 Theorie der Kraft-Weg-Messung an Tastaturen

Dieses Kapitel beschreibt die hauptsächlich verwendeten Tasten-Bauarten der verschiedenen Geräte aus der Produktpalette der Firma VDO Car Communication. Außerdem wird ein typischer Kraft-Weg-Kurvenverlauf und die daraus abgeleiteten Spezifikationen für das Haptik-Modul gezeigt.

3.1 Meßobjekte

An erster Stelle ist hier das Konzept der Schaltmatte bzw. Kontaktmatte zu nennen. Dies wird derzeit neben den Mikroschaltern am meisten genutzt. Von großer Bedeutung ist der Kraft-Weg-Verlauf der Tasten weil er die Taktilität, also das Empfinden des Anwenders bei Betätigung der Taste, festlegt. Aus den speziellen Eigenschaften der Tasten-Bauarten müssen dann die Anforderungen an das zu entwickelnde Haptik-Modul abgeleitet werden. Die Ausführung einer Taste mit Kontaktmatte kann beispielsweise wie folgt aussehen:

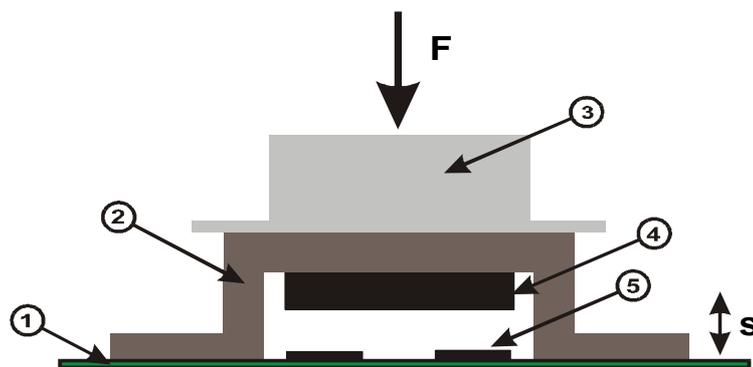


Bild 3-1. Ausführung einer Taste in Schaltmatten-Bauart

- 1 Leiterplatte
- 2 isolierender Teil (Federelement)
- 3 Kunststoffkappe
- 4 leitender Teil
- 5 Kontakte auf der Leiterplatte

Die Kraft F bewirkt hier eine Kompression des isolierenden Teils, dem sogenannten Federelement. Wenn der leitende Teil, die sogenannte Kontaktpille, auf die Kontakte der Leiterplatte trifft, wird der Kontakt geschlossen.

Das Federelement besteht aus Silikonkautschuk, also einem elastischen Material. Die Leitfähigkeit der Kontaktpille wird durch Verwendung von Kohlenstoff oder Gold erreicht.

Für den Kraft-Weg-Verlauf ausschlaggebend sind hier die Form und das Material des Federelementes. Sie haben wesentlichen Einfluß auf den Druckpunkt der Tasten. Eine Kraft von etwa 2 N bis 6 N, bei einem Weg oder Tastenhub von 1 mm bis 3 mm, reicht für den Großteil der Tasten aus, um den Kontakt zu schließen. Abschnitt 3.2 geht auf den typischen Verlauf des zugehörigen Kraft-Weg-Diagrammes ein.

Der Aufbau eines Mikroschalters ist dem oben gezeigten ähnlich. Der wesentliche Unterschied besteht in der Verwendung eines anderen Materials für das Federelement (hier als Sprungkontakt bezeichnet). Da dieses nicht aus Silikonkautschuk sondern aus Metall besteht, ändert sich auch die Taktilität einer solchen Taste. Die Rückmeldung über den Schaltvorgang ist hierbei meist deutlicher wahrzunehmen als bei der Schaltmatte. Zudem sind der Tastenhub im allgemeinen geringer (0,5 mm bis 2 mm) und die Kraft zum Erreichen des Druckpunktes größer (2 N bis 10 N).

Zu erwähnen ist schließlich noch die Bauart der mechanischen Kassetten-Laufwerkstasten. Sie haben eine vollkommen andere Schaltcharakteristik als die zuvor beschriebenen Tasten, da sie nicht über einen Druckpunkt verfügen. Die Betätigungskraft steigt bei diesen Tasten bis zu einem bestimmten Wert an und verläuft dann über den gesamten Tastenhub etwa linear. Die Betätigungskraft der Laufwerkstasten ist zudem weitaus größer (< 20 N) als die der zuvor beschriebenen Tasten.

3.2 Kraft-Weg-Kurvenverlauf

An Hand des typischen Kraft-Weg-Diagramms einer Schaltmatte werden hier die grundlegenden Definitionen für die Kraft-Weg-Messung erläutert.

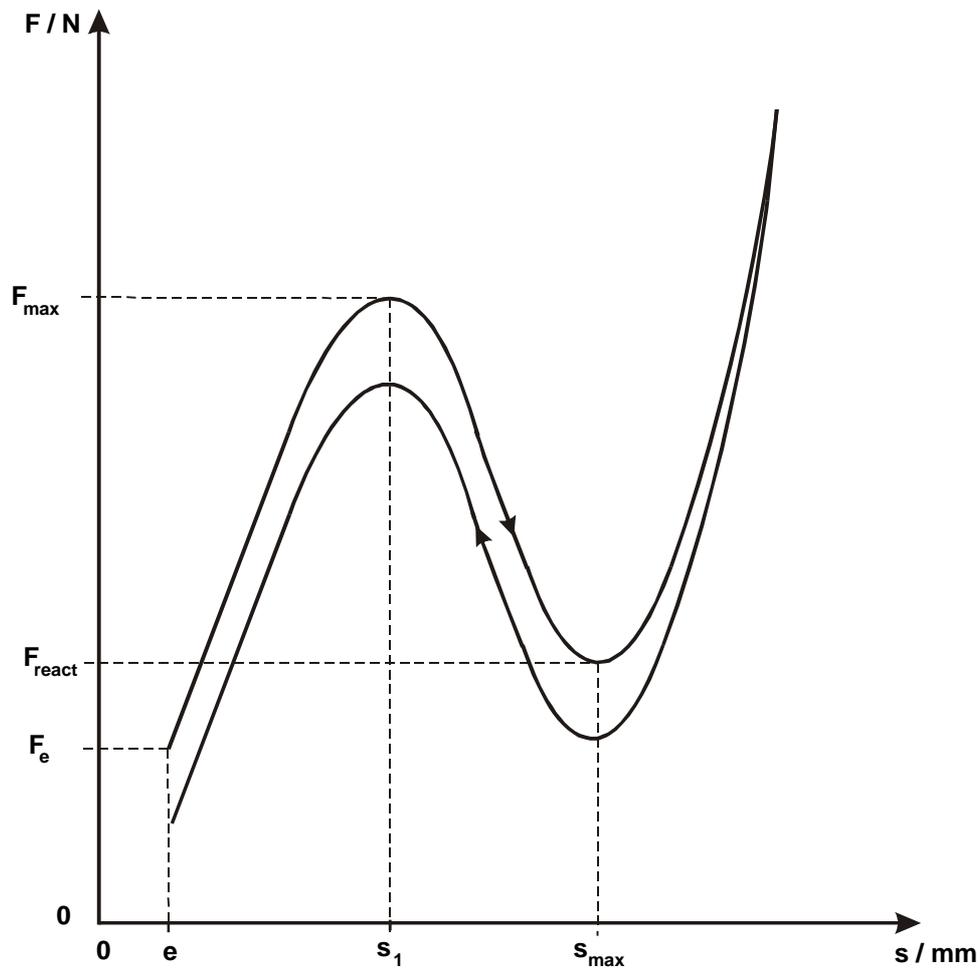


Bild 3-2. Typischer Kraft-Weg-Kurvenverlauf

F_{\max} : Schaltkraft

s_1 : Ort der Schaltkraft

F_{react} : Reaktionskraft

s_{\max} : Ort der Reaktionskraft

F_e : Vorspannkraft

e : Vorspannweg

Für die Rückmeldung, d. h. für den Erhalt der Quittung über den Schaltvorgang, entscheidend sind die Lage und Größe der Schalt- und Reaktionskraft. Diese Kräfte werden deshalb von den Automobilherstellern spezifiziert. Dadurch soll erreicht werden, daß alle Tasten der verschiedenen Komponenten innerhalb ihrer Fahrzeuge ein einheitliches Schaltempfinden aufweisen.

Zum Betätigen einer Taste ist zunächst eine größer werdende Kraft bis zum Erreichen der Schaltkraft erforderlich. Danach fällt die Kraft aufgrund der Elastizität des Federelementes wieder ab. Beim Minimum der Kurve, also bei der Reaktionskraft, wird dann der Kontakt zwischen der Kontaktpille und den Kontaktflächen auf der Leiterplatte geschlossen. Das dabei wahrgenommene Schaltempfinden (Snap) läßt sich laut Definition wie folgt berechnen:

$$\text{Snap} / \% = \frac{(F_{\max} - F_{\text{react}})}{F_{\max}} \cdot 100 \quad (1)$$

Ist der Snap größer als 60 %, wird die Rückmeldung im allgemeinen als gut empfunden. Ein weiteres Merkmal der Kurve ist die Hysterese, die nach Betätigung und darauffolgendem Lösen der Taste auftritt. Zurückzuführen ist sie ebenfalls auf die Elastizität des verwendeten Federelementes. Damit die Tasten fest in der Blende sitzen, ist es oftmals erforderlich, eine Vorspannkraft auf die Federelemente wirken zu lassen. Diese Vorspannkraft hängt von dem mechanischen Aufbau der Geräte ab, d. h. von der Montage der Gehäuse auf die Schaltmatten. Bei einer Kraft-Weg-Messung ist dies zu berücksichtigen, da dann die Kurve nicht im eigentlichen Nullpunkt beginnt.

3.3 Spezifikation der Haptik-Prüfeinrichtung

Aufgrund der beschriebenen Eigenschaften der Meßobjekte werden folgende Anforderungen an das zu entwickelnde Haptik-Modul gestellt:

- Meßbereich des Kraftaufnehmers von 0 N bis 20 N
- Auflösung der Kraftanzeige mindestens 1/10 N
- Relativer Fehler der Kraftmessung kleiner $\pm 1 \%$
- Maximaler Meßweg größer 10 mm
- Auflösung und Genauigkeit der Wegmessung mindestens 1/100 mm
- Geschwindigkeit während Messung größer 0,3 mm/s
- Geschwindigkeit vor bzw. nach Messung größer 2 mm/s
- Gesamtgewicht des Haptik-Moduls kleiner 2 kg

Ein Kraft-Meßbereich bis 20 N wird gewählt, da er für den Großteil der Prüflinge mehr als ausreichend ist. Der Richtwert für den relativen Fehler der Kraftmessung von kleiner $\pm 1 \%$ soll gewährleisten, daß eine vergleichbare Meßgenauigkeit erreicht wird, wie sie bei bereits bestehenden Kraft-Weg-Meßanlagen vorhanden ist. Als Vergleich dient hier die Meßanlage

der Firma Zollner mit Sitz in Zandt, mit der unter anderem auch Messungen für die Firma VDO Car Communication durchgeführt werden. Um die Kurvenverläufe präzise genug darstellen zu können, müssen die Auflösung und die Genauigkeit der Wegmessung mindestens $1/100$ mm betragen. Der geforderte maximale Meßweg wird durch den Hub der mechanischen Laufwerkstasten bestimmt. Dieser kann größer als 1 cm sein.

Die Geschwindigkeit, mit der der Kraftaufnehmer während der Messung gegen die Taste gefahren wird, soll mehr als 0,3 mm/s betragen, um die Meßdauer nicht zu groß werden zu lassen. Bevor die Taste vom Kraftaufnehmer erreicht wird bzw. nach Beendigung der Messung muß die Bewegungsgeschwindigkeit natürlich deutlich größer sein, da hier die zurückzulegenden Wege (ca. 2 cm) ebenfalls deutlich größer sind. Diese Wege dienen hauptsächlich dazu, Kollisionen beim Anfahren neuer Meßpunkte und damit Beschädigungen zwischen einer Gerätefront und dem Kraftaufnehmer zu vermeiden. Die Länge dieser Wege wird durch Tasten mit besonders hoher Bauart bestimmt, z. B. die mechanischen Laufwerkstasten.

Das Gesamtgewicht des Haptik-Moduls spielt ebenfalls eine Rolle. Dieses wird an die Y-Achse des Positioniersystems montiert. Um die Achse nicht zu überlasten, darf das Gesamtgewicht nicht zu hoch sein.

4 Komponenten-Auswahl

In den folgenden Abschnitten werden die für das Haptik-Modul ausgewählten Komponenten vorgestellt. Dazu gehören ein Kraftaufnehmer mit Meßverstärker, ein Positionierer und die „Delphi“ Entwicklungsumgebung für die Steuerungssoftware des Moduls.

4.1 Vorstellung des Kraftaufnehmers und Meßverstärkers

Gewählt wurde der Kraftaufnehmer „C2G4“ der Firma BLH Sensoren GmbH mit Sitz in Heilbronn (s. Bild 4-1). Dieser Kraftaufnehmer wird speziell für Messungen an Schaltern und Tastern angeboten und besteht aus einem Doppelbiegebalken mit einem darauf aufgebrauchten Dehnungsmeßstreifen (DMS). Der Nennkraftbereich von 0 N bis 20 N entspricht der Spezifikation ebenso wie die Genauigkeitsklasse von 0,1, d. h. der maximale relative Fehler beträgt $\pm 0,1$ Prozent. Desweiteren besitzt der Aufnehmer einen Nennkennwert von 1mV/V, so daß beispielsweise bei einer Speisespannung der DMS-Meßbrücke von 5 V und einer Krafteinwirkung von 20 N eine Ausgangsspannung von 5 mV geliefert wird. Schließlich waren auch der kleine Nennmeßweg von nur 2/100 mm bei Vollast und der im Vergleich zu Piezo-Kraftaufnehmern äußerst günstige Preis für die Wahl ausschlaggebend. Ein größerer Nennmeßweg bedeutet für diese Anwendung nämlich auch einen größeren Weg-Meßfehler. Unkritisch ist hingegen der Nenntemperaturbereich, da der Laborraum, in dem sich die Positionieranlage befindet, klimatisiert ist und somit keinen größeren Temperaturschwankungen unterliegt. Das Datenblatt des Kraftaufnehmers ist im Anhang enthalten.

Zur Verstärkung der vom Kraftaufnehmer gelieferten Spannung wird der Meßverstärker „BA-700“ ebenfalls vom Hersteller BLH Sensoren GmbH eingesetzt. Dieser ist für den Anschluß von DMS-Sensoren in 4-Leiter-Technik geeignet, wobei jeweils zwei Leitungen für die Brückenspeisespannung und für die Ausgangsspannung des Kraftaufnehmers vorhanden sind. Der „BA-700“ verfügt über einen analogen Signalausgang und eine serielle Schnittstelle (RS-232) für die Kommunikation mit einem Personal Computer. Allerdings kann die Schnittstelle für die Kraft-Weg-Messung in diesem zeitkritischen Anwendungsfall nicht zur Übertragung der Meßwerte genutzt werden. Mit den Betriebssystemen Windows 95 bzw. NT ist es nämlich nur sehr schwer möglich, die Daten in den geforderten Zeitrastern auszulesen.

Während der Messung ist der Kraftaufnehmer kontinuierlich in Bewegung, so daß sich die Kraft- und Wegwerte ständig ändern und eine Zuordnung entsprechender Wertepaare nur mit einem präzisen Zeitraster möglich ist. Aus diesem Grund dient die Schnittstelle lediglich zur Überwachung der Funktionsfähigkeit des Verstärkers und zur Durchführung eines Offset-

Ableichs. Die Genauigkeitsklasse des Analogausgangs beträgt laut Hersteller 0,5, d. h. der relative Fehler beträgt $\pm 0,5$ Prozent. Geliefert wird eine unipolare Ausgangsspannung von 0 V bis maximal 5 V. Die Brückenspeisespannung beträgt 2,5 V. Damit ergibt sich eine Ausgangsspannung am Kraftaufnehmer von etwa 2,5 mV bei einer Kraftereinwirkung von 20 N. Weitere Daten sind im Anhang zu finden.

4.2 Vorstellung des linearen Positionierers

Wichtige Kriterien für die Auswahl eines geeigneten linearen Positionierers sind zum einen natürlich eine ausreichende Genauigkeit der Positionierung bzw. Wegmessung, zum anderen müssen Software-Treiber zur Steuerung des Positionierers unter Windows 95 und Windows NT verfügbar sein, die es ermöglichen, die Weg-Meßwerte schnell genug auszu-lesen.

Da die Bewegung des Kraftaufnehmers während der Messung gleichförmig sein soll, hängt die maximal zulässige Auslesezeit von der Geschwindigkeit des Positionierers während der Messung ab. Je kleiner die Auslesezeit ist, um so genauer kann dann der anschließend ausgelesene Kraft-Meßwert dem zugehörigen Weg-Meßwert zugeordnet werden.

Gewählt wurde das lineare Stellglied „850F-HS“ (s. Bild 4-1) der Firma Newport, Darmstadt, welches in Verbindung mit der PC-Karte „ESP6000DCIB“ für die Steuer- und Regelelektronik und mit der Verstärker-Einheit „MM2000“ alle geforderten Kriterien erfüllt.

Die Einsteckkarte für den PCI-Bus (Peripheral Component Interconnect) ermöglicht das Auslesen des aktuellen Positionswertes in einem Zeitraum von weniger als 0,5 ms und verfügt zusätzlich über einen Analog/Digital-Umsetzer (ADU) mit acht analogen Eingängen. Einer dieser Eingänge wird für die Umwandlung des Meßverstärker-Signals genutzt. Auch werden zu der Karte die benötigten Softwaretreiber in Form einer Modulbibliothek geliefert. Die Steuerungselektronik beinhaltet im wesentlichen einen PID-Regler (Proportional-Integral-Differential) für die Geschwindigkeitsvorausberechnung und Positionsbestimmung des Stellgliedes (Aktuator). Der Aktuator selbst wird von einem Gleichstrommotor angetrieben, der eine Positioniergeschwindigkeit von 0,1 mm/s bis 6 mm/s erlaubt. Ein maximaler Verstellweg für die Positionierung von 50 mm und eine Anzeigeauflösung des Positionswertes von 0,1 μm mit einem relativen Fehler von weniger als $\pm 0,1$ Prozent (Angaben des Herstellers) sind weitere positive Eigenschaften des Stellgliedes. Diese Genauigkeit wird mit Hilfe eines Rotationsencoders für die Positionskontrolle erreicht. Schließlich sind noch das geringe Gewicht von nur 470 g und die kleine Baugröße (Länge ca. 15 cm bei eingefahrenem Antriebsstab) zu erwähnen. Die Verstärker-Einheit „MM2000“, die von der PC-Karte angesteuert wird, liefert den für den Motor des Aktuators notwendigen Strom. Auch hierzu sind weitere technische Daten im Anhang zu finden.

Bild 4-1 verdeutlicht noch einmal den Aufbau des gesamten Haptik-Moduls. Zu sehen ist der Aluminium-Doppelbiegebalken des Kraftaufnehmers mit dem darauf angebrachten DMS. Die Kräfteinleitung erfolgt über eine aufgeschraubte Messingkugel. Ein Montagezylinder verbindet den Kraftaufnehmer mit dem Antriebsstab des Positionierers. Ein Befestigungswinkel dient dann der Montage des Moduls oberhalb der Teleskop-Optik an der Y-Achse des 3-Achsen-Positioniersystems.

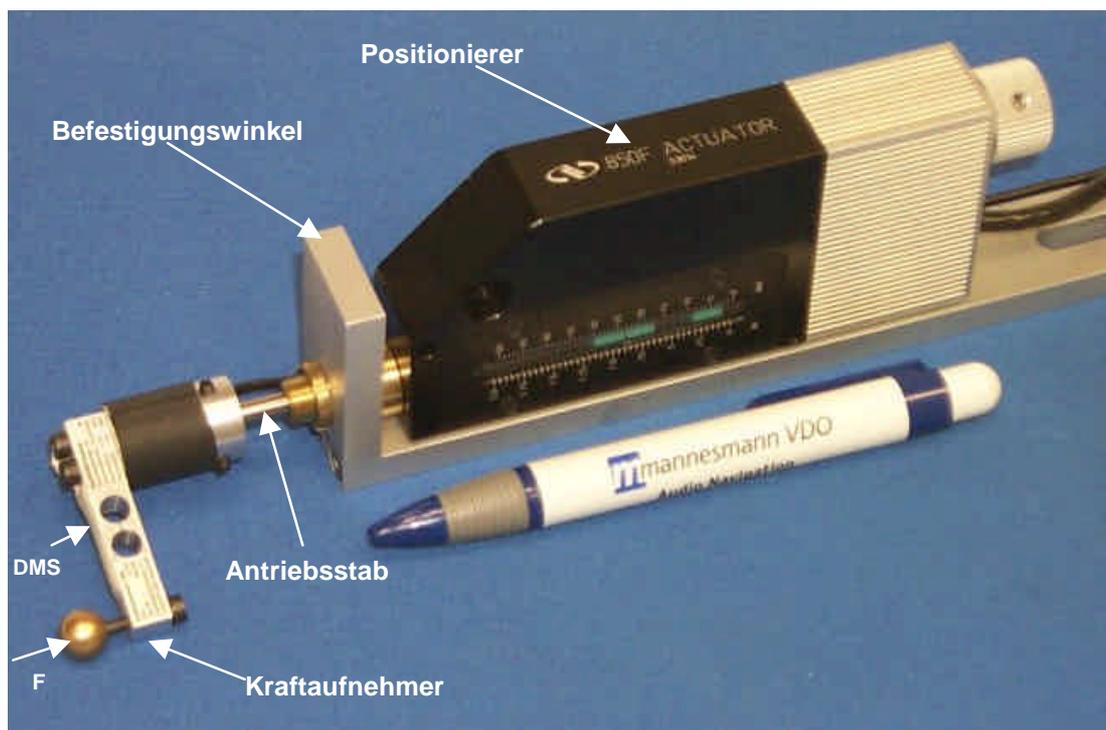


Bild 4-1. Das Haptik-Modul

4.3 Vorstellung der Delphi-Entwicklungsumgebung

Als dritte Komponente ist die zu entwickelnde Steuerungssoftware für das Haptik-Modul zu nennen. In diesem Abschnitt erfolgt die Vorstellung der visuellen Programmierung unter der Entwicklungsumgebung „Delphi“.

Das Software-Entwicklungspaket „Delphi“ der Firma Borland mußte verwendet werden, um eine Integration der neu erstellten Software in das vorhandene Softwarepaket zur Steuerung des optischen Meßsystems zu ermöglichen (s. Abschn. 5.2). „Delphi“ bietet die Möglichkeit, auf einfache Weise graphische Bedienoberflächen für Windows-Anwendungen zu erstellen. Erreicht wird dies durch die Verbindung zu der sehr leistungsfähigen und objektorientierten Programmiersprache „Object Pascal“.

Der Implementierungszyklus stellt sich unter „Delphi“ folgendermaßen dar:

Zunächst werden die Windows-Steuerelemente auf dem Hauptanwendungsfenster für das neu zu schreibende Programm platziert. Diese Steuerelemente können aus einer fertigen Komponenten-Bibliothek entnommen werden, in der die jeweiligen Programmgerüste bereits vorhanden sind. Ein Beispiel für eine mögliche Komponente ist eine einfache Schaltfläche (Button), deren Programmgerüst wie folgt aussehen kann:



```
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);  
begin  
  
end;
```

Bild 4-2. Beispiel einer „Delphi“-Komponente

Jede Komponente besitzt unterschiedliche Eigenschaften, z. B. Text, Größe und Farbe, und kann auf verschiedene Ereignisse „reagieren“. Das obige Beispiel zeigt das Programmgerüst für das Ereignis „Button1Click“. Hier kann zwischen den Marken „begin“ und „end“ der Programmtext eingefügt werden, der nach dem Betätigen der Schaltfläche ausgeführt werden soll. Dieses Konzept der ereignisgesteuerten Programmierung unterscheidet sich völlig von dem der prozeduralen Programmierung, da der Programmablauf nicht von Anfang an feststeht. Es werden keine Anweisungen oder Funktionen sequentiell abgearbeitet, sondern es finden Reaktionen auf die Aktionen des Anwenders statt. Dadurch ist ein Umdenken des Entwicklers bei der Implementierung der Software erforderlich.

Von „Delphi“ sind verschiedene Versionen auf dem Markt, wobei hier die 16-bit-Version („Delphi 1“ mit einem 16-bit-Compiler) und eine 32-bit-Version („Delphi 2“) verwendet werden. „Delphi 1“ ist eigentlich für das Betriebssystem Windows 3.x entwickelt worden, wird aber dennoch eingesetzt, da die Software der optischen Meßanlage ebenfalls mit dieser Entwicklungsumgebung erstellt wurde.

Die 32-bit-Version ist dagegen für Windows 95 und NT vorgesehen und ermöglicht ein einfacheres Einbinden sogenannter Modulbibliotheken (DLL's: Dynamic Link Libraries), sofern diese ebenfalls auf 32-bit-Code basieren. Die Programme zur Steuerung des Haptik-Moduls und zur Ansteuerung der Videogeneratorkarte sind mit „Delphi 2“ entwickelt worden, da sie 32-bit-DLL's zur Kommunikation mit ihrer Hardware benötigen und diese mit in die Programme eingebunden werden mußten. Unter „Delphi 1“ ist dieses Einbinden nur sehr schwer möglich. Abschnitt 6.2 (s. S. 25) geht näher auf dieses Thema ein.

5 Integration der Haptik-Prüfeinrichtung

Nachdem alle für das Haptik-Modul benötigten Komponenten vorgestellt wurden, folgt nun die Beschreibung der Integration in das vorhandene optische Meßsystem.

Als erstes erfolgt eine Beschreibung des elektrischen Modul-Aufbaus und die Anbindung an den Steuerungs-PC des optischen Meßsystems. Im Anschluß wird auf die Montage des Moduls in das Positioniersystem eingegangen. An Hand des Beispiels, der ebenfalls zu entwickelnden Steuerungssoftware für einen Spannungsgenerator, wird schließlich die Verknüpfung zu der Steuerungssoftware des optischen Meßsystems erläutert. Genutzt wird der Spannungsgenerator (vom Haptik-Modul unabhängig) für die Spannungsversorgung der Prüflinge (z. B. Autoradios).

5.1 Elektrische Integration

Den elektrischen Aufbau des Haptik-Moduls zeigt Bild 5-1:

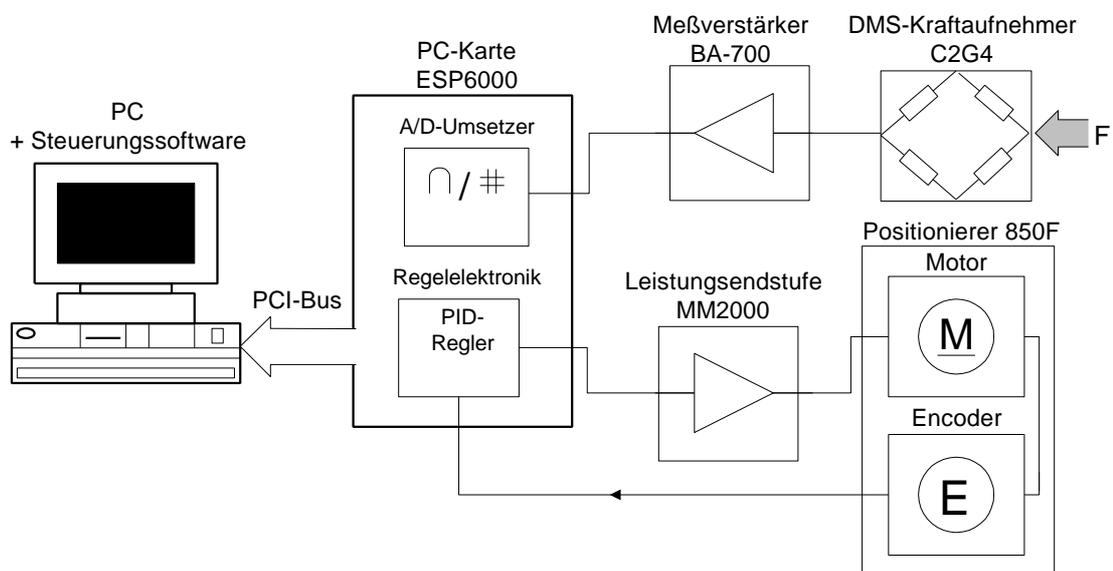


Bild 5-1. Blockschaltbild des Haptik-Moduls

Der PC übernimmt die Steuerung des Meßablaufs und die Auswertung der Meßergebnisse. Über den PCI-Bus kommuniziert der PC mit der Einsteckkarte „ESP6000“, welche die empfangenen Befehle mit Hilfe einer Regelelektronik in Steuerspannungen für die externe Leistungsendstufe zum Antrieb des Gleichstrom-Servomotors umsetzt. Über den Rotationsencoder des Aktuators errechnet die Steuerelektronik ständig den aktuellen Positionswert des Antriebsstabs und gibt diesen, wenn gefordert, an den PC zurück.

Der Meßverstärker „BA-700“ verstärkt das Spannungssignal des Kraftaufnehmers. Der analoge Ausgang ist mit dem Eingang des A/D-Umsetzers (der sich ebenfalls auf der PC-Karte befindet) verbunden. Der ADU wandelt das Spannungssignal des „BA-700“ (0 bis 5 V) in einen digitalen Wert. Die Auflösung ist 16 bit, wobei nicht mehr als 12 bit für die Umsetzung der Spannung benötigt werden. Die Abtastrate liegt bei 100 kHz, was für die Anwendung vollkommen ausreichend ist, da die Zeit zwischen zwei Meßwert-Abfragen durch die Software ca. 0,5 ms (laut Hersteller) beträgt.

5.2 Mechanische Integration

Die Anfertigung eines Aluminium-Befestigungswinkels und eines Montagezylinders sind für die mechanische Integration notwendig (s. S. 16). Der Montagezylinder verbindet hierbei den Kraftaufnehmer mit dem Aktuator, der Befestigungswinkel dient der Montage des Moduls an der vertikalen Achse (Y-Achse) des Positioniersystems oberhalb der Teleskop-Optik. Somit können die Positionskordinaten der Teleskop-Optik, die für die optische Messung anzufahren sind, auch direkt für die Positionierung des Haptik-Moduls genutzt werden. Dazu ist es erforderlich, für die X- und Y-Achse des 3-Achsen-Positioniersystems den Versatz (Offset) zwischen der Position der Teleskop-Optik und der des Kraftaufnehmers zu bestimmen, und die vorhandenen Positionskordinaten dementsprechend zu ändern. Außerdem müssen den Z-Kordinaten für die Haptik-Messung ein bestimmter konstanter Wert zugewiesen werden, der sicherstellt, daß der Abstand zwischen dem Haptik-Modul und dem Prüfling für die Messungen geeignet ist.

5.3 Integration der Software mit Ablaufsteuerungsmodul „XDrv“

Dieser Abschnitt zeigt, wie die neu erstellte Software mit dem vorhandenen Programm „IS-SpecWin“ für die optische Messung und Positionierung kommuniziert.

Die Schnittstelle zwischen den Programmen bildet das Ablaufsteuerungsmodul „XDrv“ der Firma Instrument Systems. Die Software „IS-SpecWin“ bindet dieses Modul, bestehend aus einer Modulbibliothek (DLL), beim Programmstart, d. h. während der Laufzeit, ein. Durch eine Modifikation des Quellcodes der DLL „XDrv“ ist es daher möglich die benötigte Verknüpfung zur „IS-SpecWin“-Software herzustellen.

Allgemein ermöglicht eine DLL den Export von Prozeduren und Funktionen, die dann in beliebigen Programmen verschiedener Hochsprachen verwendet werden können.

So ermöglichen in diesem Falle einige Funktionen der Modulbibliothek „XDrv“ mit Hilfe der Entwicklungsumgebung „Delphi 1“ eine Erweiterung des „IS-SpecWin“-Programms. Es können z. B. neue Variable deklariert werden, auf die dann das Programm zugreifen kann. Zur Verdeutlichung der Arbeitsweise werden zunächst die wichtigsten Funktionen der DLL beschrieben. Angefangen mit der Deklaration der Funktion „GetChannelSettings“:

```
function GetChannelSettings(. . .): Smallint;
begin
    case Index of
    idDouble1:
        begin
            StrCopy(DestName, 'vset');
            DestType:= xdDataTypedouble;
        end;
    ...
end;
```

Diese Funktion ermöglicht die Deklaration neuer Variablen, in diesem Beispiel der Variablen „vset“, die für die Steuerung des Spannungsgenerators benutzt wird (s. Abschn. 6.1). Der Funktion muß nur der Name (StrCopy(DestName, 'vset');) und der Typ (DestType := xdDataTypedouble;) der Variablen mitgeteilt werden. Nach dem Kompilieren der DLL und dem Starten des „IS-SpecWin“-Programmes ist die Variable dann im Datenmanager vorhanden. Aus dem Datenmanager kann die Variable anschließend in die „Parameter“-Tabelle geladen werden. Für die Koordinaten eines Meßpunktes läßt sich nun in der Tabelle der Wert der Variablen festlegen. In diesem Beispiel kann also der Spannungswert für jeden Meßpunkt eingestellt werden. Allerdings muß dieser auch an den angeschlossenen Spannungsgenerator übergeben werden. Dazu dient die Funktion „PutNum“ der DLL:

```
function PutNum (id, Tag: Smallint; ARow, ACol: Longint; Value: Double): Smallint;
begin
    if id = 1 then
        begin
            case Tag of
            idvset :
                begin
                    vset:= value;
                    ....
                end;
            ....
        end;
    end;
```

Ist die Abfrage „id = 1“ wahr, bedeutet dies eine Wert-Änderung einer Variablen, die in der DLL deklariert ist. Hat die Variable die Kennung „idvset“, wird der neu eingegebene Wert (value) der Variablen „vset“ zugeordnet. Zwischen den Marken „begin“ und „end“ der Case-Fallverzweigung können die zur Übergabe des Wertes an den Generator benötigten Funktionen programmiert bzw. der Wert an das Generator-Steuerungsprogramm weitergegeben werden. Diese Funktion bildet also die Schnittstelle zwischen der „Parameter“-Tabelle der „IS-SpecWin“-Software und anderen Programmen. Voraussetzung dafür ist jedoch, daß neu erstellte Programme zusammen mit der DLL kompiliert werden, was nur möglich ist, wenn diese auch mit „Delphi 1“ erstellt wurden. Die Programme sind dann ein Bestandteil der DLL.

Der Ablauf der optischen Meßsequenz sieht jetzt wie folgt aus:

Zuerst werden alle zusätzlichen Variable in der „Parameter“-Tabelle abgearbeitet, in diesem Beispiel also nur die Variable „vset“. Der in der ersten Zeile der Tabelle eingegebene Wert wird der Variablen zugewiesen und die nachfolgenden Funktionen zur Übergabe des Wertes an den Generator ausgeführt.

Anschließend erfolgen das Anfahren der ersten Meßposition und (falls die Variable „Messung“ den Wert „1“ hat) die optische Messung. Nacheinander werden so alle Zeilen der „Parameter“-Tabelle abgearbeitet.

Die Funktion „GetNum“ ermöglicht umgekehrt die Zuordnung eines Wertes aus z. B. einem Steuerungsprogramm zu einer Variablen der DLL.

Eine weitere wichtige Funktion der DLL ist die Funktion „Init“. Sie wird direkt nach dem Programmstart von der „IS-SpecWin“-Software aufgerufen und ist dadurch zur Initialisierung von Variablen und zum Erzeugen zusätzlicher Anwendungsfenster geeignet. Beispielsweise wird mit Hilfe der Funktion ein Fenster erzeugt, welches Schaltflächen zum Starten der drei neu erstellten Steuerungsprogramme (für Spannungsgenerator, Videogeneratorkarte und Haptik-Messung) enthält. Der Quellcode und die vom Hersteller mitgelieferte Beschreibung der DLL sind im Anhang enthalten.

6 Software

In diesem Kapitel werden die drei Steuerungsprogramme für Spannungsgenerator, Videogeneratorkarte und für das Haptik-Modul vorgestellt. Alle drei wurden unabhängig voneinander in die vorhandene Software des optischen Meßsystems integriert. Die Programme des Haptik-Moduls und des Spannungsgenerators verfügen zusätzlich über eine Verknüpfung in Form einer Variablen, zu der „Parameter“-Tabelle der „IS-SpecWin“-Software. Mit Hilfe dieser Variablen kann dann ein Spannungs-Sollwert an den Generator übergeben oder die Haptik-Messung gestartet werden.

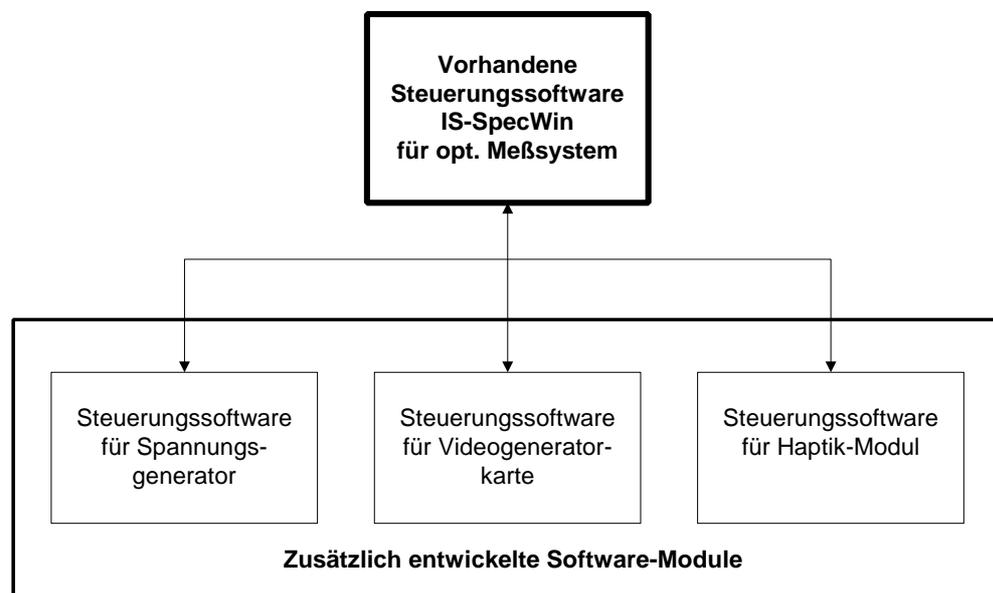


Bild 6-1. Software-Module

6.1 Die Steuerungssoftware des Spannungsgenerators

Dieser Abschnitt beschreibt die Funktionsweise des Steuerungsprogrammes für den Spannungsgenerator „NGSM32/10“ der Firma Rohde & Schwarz.

· Allgemeine Beschreibung und Funktion des Programms „NGSM“

Der Spannungsgenerator „NGSM32/10“ ist speziell für die Prüfaufgaben der Automobilelektronik konzipiert. Das Steuerungsprogramm „NGSM“ dient zur weiteren Automatisierung des optischen Meßablaufs und ist deshalb in die „IS-SpecWin“-Software integriert. So kann z. B. die Leuchtdichte einer Leuchtdiode für unterschiedliche Spannungen innerhalb einer

Meßsequenz aufgenommen werden, ohne dafür die Spannungen manuell einstellen zu müssen. Die Bedienoberfläche des Programms ist der des Generators nachgebildet (s. Bild 6-2), wobei nicht alle Funktionen des Generators auch mit der Software realisiert werden mußten. Unbedingt erforderlich sind nur das Einstellen verschiedener Spannungen und der Strombegrenzung. Auf diese Funktionen wird im folgenden näher eingegangen.

Geschrieben wurde das Programm in der Entwicklungsumgebung „Delphi 1“. Dies war möglich, da zur Steuerung des Generators keine 32-bit-DLL benötigt wird, sondern lediglich ein Fernsteuerbefehlssatz.

· *Die Kommunikation zwischen PC und Spannungsgenerator*

Die Kommunikation mit einem PC erfolgt über die RS-232-Schnittstelle. Dazu wurde nachträglich eine Schnittstellenkarte in den Generator eingebaut. Zur Übertragung der Signale werden folgende Leitungen der Schnittstelle benötigt:

- TxD (Transmitt Data): Zum Senden der Daten vom PC
- RxD (Receive Data): Zum Empfangen der Daten
- Shield (Schutzerde): Verbindung zur Gerätemasse
- GND (Ground): Bezugspotential der Signalleitungen

Die Übertragungsrates beträgt 9600 Baud. Übertragen wird im folgendem Format: 1 Startbit, 8 Datenbits und ein Stoppbit. Das Senden und Empfangen der Daten ist gleichzeitig möglich (Voll duplex). Verwendet wird dabei das XON / XOFF-Protokoll.

· *Beschreibung des Fernsteuerbefehlssatzes*

Grundsätzlich stehen zwei Arten von Fernsteuerbefehlen zur Verfügung, die Programmierbefehle und die Abfragebefehle. Programmierbefehle bestehen aus einem Befehlskopf, einem oder mehreren Trennzeichen und einem Parameter. Das Ende dieser Befehle stellt das Zeichen Carriage Return (CR) dar. Nach dessen Empfang wird der Befehl vom Generator ausgeführt. Die Abfragebefehle bestehen aus einem Befehlskopf und einem direkt darauf folgenden Fragezeichen. Auch hier bildet das Zeichen „CR“ das Ende des Befehls.

Die Befehlszeilen des Programms zum Einstellen eines Spannungs-Sollwertes von z. B. 2,5 V sehen somit wie folgt aus:

```
Out := 'VSET'+ ' ' + 2.5+#$0d;  
RS232_Port.putstring(Out);
```

Die Variable „out“ ist vom Typ „String“ und dient zur Speicherung der an den Generator zu übergebenden Zeichenkette. „VSET“ ist der Befehlskopf zum Einstellen des Spannungswertes. Danach folgt ein Trennzeichen (‘ ’) und der Parameter „2.5“ für den gewünschten Sollwert. Das Steuerzeichen „#\$0d“ ist das Ende des Befehls und entspricht dem Carriage Return. Die Zeichenkette wird dann mit Hilfe der „Delphi“-Komponente „TapdComPort“, auf die später näher eingegangen wird, an die Schnittstelle übergeben.

Weitere Beispiele für Fernsteuerbefehlsköpfe sind:

- ISET: Zur Einstellung des Strom-Sollwertes (Strombegrenzung)
- ON : Zum Ein- und Ausschalten des Spannungsausgangs
- ISET? oder VSET?: Zur Abfrage der eingestellten Strom- oder Spannungswerte

Die ausführliche Befehlsbeschreibung, sowie der Quellcode des Programms „NGSM.pas“ sind im Anhang zu finden.

• *Die Komponente „TapdComPort“ („Async Professional“ for Delphi)*

Diese für „Delphi 1“ und „Delphi 2“ erhältliche Zusatzkomponente wird verwendet, um Daten zu der RS-232-Schnittstelle zu senden, bzw. von dieser zu empfangen.

Die Parameter der Schnittstelle, wie z. B. Übertragungsrate und Nummer (Com 1 bis 9), können einfach als Eigenschaften der Komponente festgelegt werden. Zum Senden einer Zeichenkette dient die Funktion „putstring“, der als Parameter die Zeichenkette (String) übergeben wird. Den Empfang bewerkstelligt die Prozedur „OnTriggerAvail“, die immer dann aktiv wird, wenn ein Zeichen oder eine Zeichenkette von der Schnittstelle empfangen wurde. Ist dies der Fall sendet die Schnittstelle ein Trigger-Signal. Mit Hilfe der Prozedur kann dann Zeichen für Zeichen in eine String-Variable eingelesen werden.

• *Integration des Programms in die „IS-SpecWin“-Software*

Integriert wurde ein neues Formular, welches lediglich drei Schaltflächen enthält. Eine der Schaltflächen dient zum Starten des Programms „NGSM“. Die Bedienoberfläche stellt sich nach dem Start wie folgt dar:

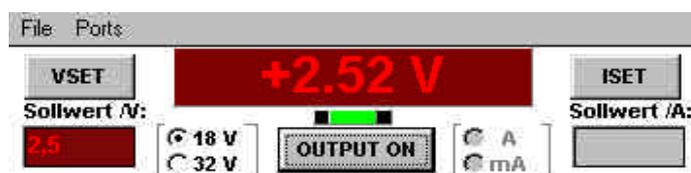


Bild 6-2. Bedienoberfläche des Programms „NGSM“

Die Bedienoberfläche ist so klein wie möglich gehalten, damit keine Fenster oder Schaltflächen der „IS-SpecWin“-Software verdeckt werden. Über die Schaltflächen „VSET“ und „ISET“ kann das Display auf Spannungs- bzw. Stromwertanzeige umgeschaltet werden. Die Spannungs- bzw. Strom-Sollwerte werden in den beiden Editier-Feldern unterhalb der Schaltflächen eingegeben. Mit der Schaltfläche „OUTPUT ON“ läßt sich der Spannungsausgang aktivieren oder deaktivieren. Der Zustand des Ausgangs wird über eine Leuchtdiode oberhalb der Schaltfläche angezeigt. Außerdem können noch der Spannungsbereich (18 V oder 32 V), der Strom-Meßbereich (A oder mA) und die Schnittstelle (COM 1 bis 9) eingestellt werden. Um die Spannung innerhalb einer Meßsequenz automatisch einstellen zu können steht zusätzlich die Variable „vset“ im Datenmanager und damit auch in der „Parameter“-Tabelle zur Verfügung (s. Abschn. 5.2). Um deren Wert an den Generator übergeben zu können, sind die dazu nötigen Befehle in die Funktion „PutNum“ der DLL „XDrv“ integriert worden.

6.2 Die Steuerungssoftware der Videogeneratorkarte

Eine weitere Funktion, die in die „IS-SpecWin“-Software integriert wurde, ist eine Bedienoberfläche zur Ansteuerung der Videogeneratorkarte „VTG-1135“ von Unigraf. Die Realisierung des Steuerungsprogramms wird im folgenden beschrieben.

· Allgemeine Beschreibung und Funktion des Programms „VTG1135“

Die Videogeneratorkarte „VTG-1135“ ist eine Einsteckkarte für den ISA-Bus (Industrial Standard Architecture) eines PC's. Sie ermöglicht das Testen von Monitoren, Displays und anderem Video-Zubehör. Es können mit Hilfe einer mitgelieferten Software unterschiedliche Testbilder (Pattern files) mit entsprechenden Farbeinstellungen (Color Files) und Synchronisationen (Timing Files) erzeugt und in Dateien gespeichert werden. Die Karte gibt die Signale dann im RGB-Format (Rot-Grün-Blau) aus. Da es bei der optischen Messung an Displays häufig notwendig ist, die Testbilder zu wechseln, bietet die Steuerungssoftware „VTG1135“ eine einfache Möglichkeit, innerhalb des „IS-SpecWin“-Programms die entsprechenden drei Dateien zu laden. Die Funktionen zur Ansteuerung der Videogeneratorkarte stellt die 32-Bit-DLL „VTG32“ zur Verfügung.

· Beschreibung der wichtigsten Funktionen der Modulbibliothek „VTG32.dll“

Wichtige im Programm verwendete Funktionen der DLL sind:

- VTG_OpenCard: Um die Kommunikation mit der Karte zu eröffnen

- VTGFile_pic: Zum Laden der Testbild-Datei
- VTGFile_col: Zum Laden der Farbeinstellungs-Datei
- VTGFile_tim: Zum Laden der Synchronisations-Datei

Diese Funktionen müssen nun in das Programm „VTG1135“ eingebunden werden. Dazu muß dem Compiler mitgeteilt werden, wie die Funktionen heißen, wie die Argumente der Funktionen und gegebenenfalls die Rückgabewerte aussehen und in welcher DLL sich die Funktionen befinden. Die Einbindung erfolgt hier statisch, d. h. der Compiler erhält die benötigten Informationen über bestimmte Schlüsselwörter mitgeteilt. Da es sich um eine 32-bit-DLL handelt, ist es notwendig auch einen 32-bit-Compiler zu verwenden, diesen stellt aber nur „Delphi 2“ zur Verfügung. Aus dem Grund wurde das Programm „VTG1135“ in der Entwicklungsumgebung „Delphi 2“ erstellt. Die Deklarationen der benötigten Funktionen, die die Schlüsselwörter enthalten, müssen im sogenannten „Implementation“-Teil des Programms (Unit) stehen. In diesem Teil eines Programms werden alle benötigten Funktionen (nicht nur aus DLL's) implementiert. Da die DLL nicht in Pascal, sondern in C++ geschrieben wurde, ist zusätzlich noch die Wahl der richtigen Aufrufkonvention zu beachten. Diese legt z. B. fest, in welcher Reihenfolge die Parameter bei einem Funktions-Aufruf auf dem Stack abgelegt werden. Gewählt wurde hier die sogenannte „stdcall“ Aufrufkonvention. Wie nun eine solche Funktions-Deklaration im Programm aussieht, soll das folgende Beispiel zeigen:

implementation

```
function VTGFILE_PIC(cardnumber:integer;path:pointer):integer;  
far;stdcall;external 'VTG32.dll' name 'VTGFile_pic';
```

Die Funktion „VTGFile_pic“ wird zum Laden einer Testbild-Datei verwendet. Die Parameter „cardnumber“ und „path“ müssen an diese übergeben werden. Der Parameter „cardnumber“ wird zuvor mit einer anderen Funktion ermittelt und teilt der DLL mit, welche Karte (falls mehrere im PC vorhanden sind) die Funktion ausführen soll. „path“ ist ein Zeiger, der auf den Pfad und den Namen der Testbild-Datei verweisen muß. Der Rückgabewert der Funktion ist vom Typ „integer“ (Ganzzahl) und zeigt dem Programm, ob die Funktion erfolgreich ausgeführt wurde oder nicht. Die Schlüsselwörter „far“ und „external“ teilen dem Compiler mit, daß die Funktion in einem anderen Modul (hier in der VTG32.dll) zu finden ist. Nach dem Schlüsselwort „name“ muß der Name der Funktion genannt werden, wobei Groß- und Kleinschreibung zu beachten sind. Anschließend kann die Funktion im Programm verwendet werden. Leider gibt es keine Beschreibung der DLL, sondern nur ein Beispiel-Programm (geschrieben in C++), welches die DLL nutzt, so daß das Implementieren der Funktionen einige Schwierigkeiten bereitete.

· *Integration des Programms in die „IS-SpecWin“-Software*

Das Programm „VTG1135“ ist ebenfalls über eine Schaltfläche, die in die „IS-SpecWin“-Software integriert wurde, zu starten. Eine Verknüpfung zu der „Parameter“-Tabelle ist allerdings nicht vorhanden. Die Bedienoberfläche stellt sich wie folgt dar:



Bild 6-3. Bedienoberfläche des Programms „VTG1135“

Nach Betätigung der entsprechenden Schaltflächen (z. B. „SetPatFile“ für die Wahl einer Testbild-Datei) können die gewünschten Datei ausgewählt werden. Dazu dienen das Datei-Auflistungsfenster („Filelistbox“) und das Verzeichnis-Auflistungsfenster („Directorylistbox“). Mit der Schaltfläche „SET“ wird dann die Auswahl bestätigt. Die Videogeneratorkarte lädt anschließend die entsprechenden Dateien.

6.3 Aufgaben der Software für die Haptik-Prüfeinrichtung

Die Steuerungssoftware des Haptik-Moduls hat eine Vielzahl von Aufgaben. Die wichtigsten werden in diesem Abschnitt vorgestellt und in den nachfolgenden Abschnitten näher erläutert.

Zur Durchführung der Kraft-Weg-Messung muß die Software natürlich den linearen Positionierer steuern können. Dies geschieht mit Hilfe der DLL „ESP6000“ von Newport. Enthalten sind in der DLL nicht nur die Funktionen zur Bewegungssteuerung und Positionsbestimmung, sondern auch zum Auslesen der Meßdaten des A/D-Umsetzers. Somit erhält die Software auch die Kraftmeßwerte über die Funktionen dieser DLL. Eine weitere Modulbibliothek wird zur Kalibrierung der Kraftmessung benötigt. Die zum Meßverstärker mitgelieferte DLL „MEGSV“ ermöglicht es, vor dem Beginn der Kalibrierung (und auch der Messungen) einen Nullabgleich (Offset) des Verstärkers durchzuführen.

Um das vorhandene 5-Achsen-Positioniersystem nutzen zu können, muß die Software auch eine Verknüpfung zu der „Parameter“-Tabelle der „IS-SpecWin“-Software herstellen. Dazu dient die DLL „XDrv“ der Firma Instrument Systems (s. Abschn. 5.3, S. 19). Über diese Verknüpfung bekommt die Software mitgeteilt, wann eine Haptik-Messung auszuführen ist.

Die erhaltenen Meßdaten müssen dann noch verarbeitet und anschließend in einer Datei gespeichert werden. Außerdem soll die Möglichkeit einer einfachen graphischen Auswertung der Meßergebnisse vorhanden sein.

Einen Überblick über die Hauptaufgaben gibt noch einmal das folgende Bild:

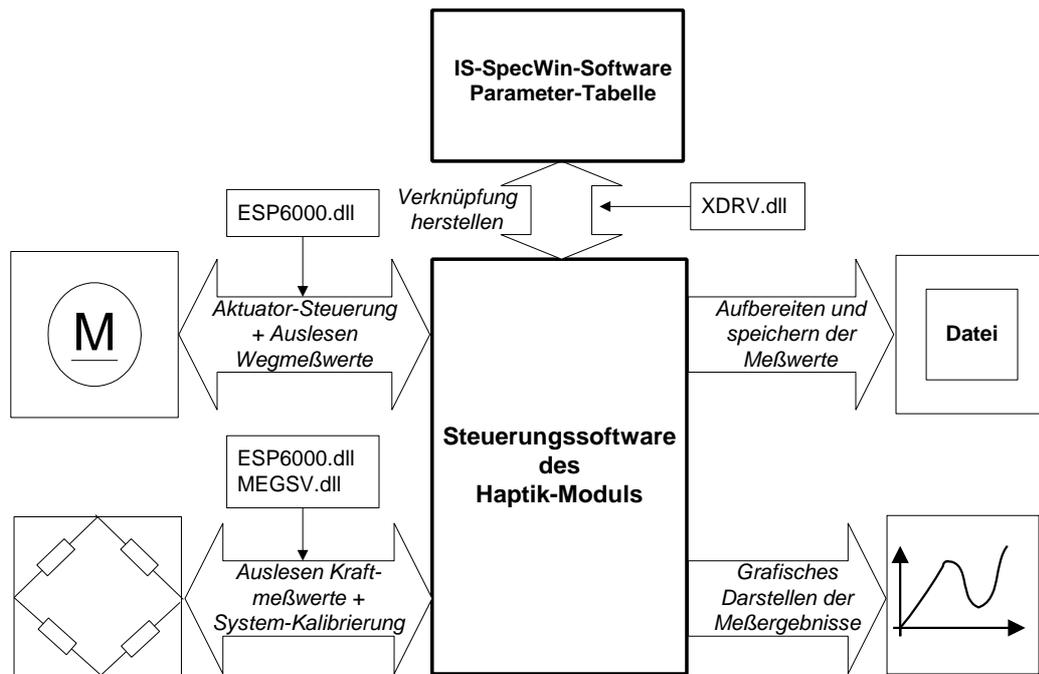


Bild 6-4. Hauptaufgaben der Software für die Haptik-Messung

6.3.1 Das Projekt „F/d measurement“

Das Projekt „F/d measurement“ (Force/displacement) realisiert alle oben genannten Aufgaben. Einige davon sind zur besseren Übersichtlichkeit in eigenständige Programme aufgeteilt worden, die in der Entwicklungsumgebung „Delphi“ Units genannt werden. Die verschiedenen Units werden in einem Projekt zusammengefaßt und können dann problemlos miteinander kommunizieren bzw. Daten austauschen. Dieses Projekt benötigt allerdings die zuvor genannten Modulbibliotheken (DLL's), um die Aufgaben ausführen zu können. Da die DLL's „MEGSV“ und „ESP6000“ auf 32-bit-Code basieren, mußte zum Einbinden der daraus benötigten Funktionen die Entwicklungsumgebung „Delphi 2“ gewählt werden, d. h. das gesamte Projekt wurde mit „Delphi 2“ erstellt. Dies hat den Nachteil, daß das Projekt nicht zusammen mit der DLL „XDrv“ kompiliert werden kann, da die DLL auf

16-bit-Code basiert. Die Verknüpfung mit der „Parameter“-Tabelle der „IS-SpecWin“-Software kann dadurch nicht wie in Abschnitt 5.3 (s. S. 19) gezeigt durchgeführt werden. Im folgenden werden die einzelnen Units und die gefundene Lösung zum Erstellen der Verknüpfung beschrieben. Zunächst stellt Bild 6-5 die Aufteilung des Projektes „F/d measurement“ in die einzelnen Units dar:

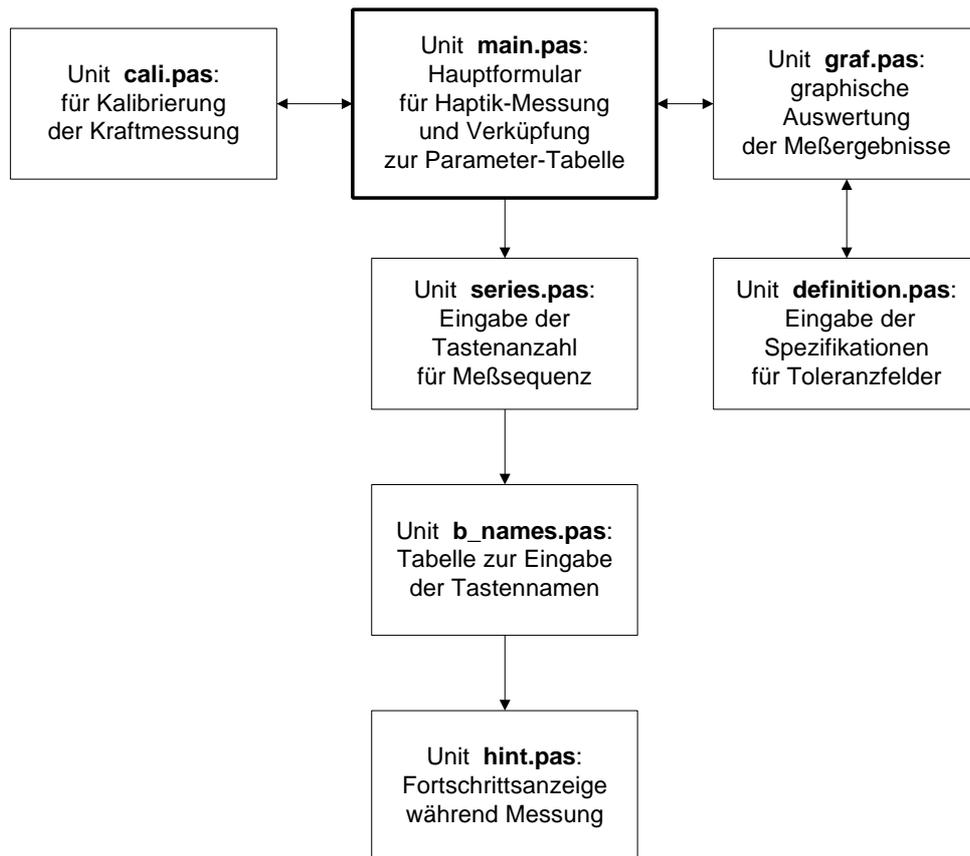


Bild 6-5. Aufteilung des Projekts „F/d measurement“

6.3.1.1 Unit „main.pas“

Innerhalb des Projekts „F/d measurement“ ist diese Unit im Prinzip das Hauptprogramm für die Haptik-Messung, da sich aus dieser Unit heraus alle anderen Units aufrufen lassen.

Im folgenden werden einige Funktionen der DLL's „ESP6000“ und „MEGSV“ beschrieben. Benötigt werden die Funktionen zur Durchführung der Messung und zur Realisierung der Verknüpfung mit der „IS-SpecWin“-Software. Außerdem wird auf die Verarbeitung und Speicherung der Meßdaten eingegangen und die Bedienoberfläche des Programms vorgestellt.

Zuvor sollen aber die grundlegenden Funktionen der Unit verdeutlicht werden:

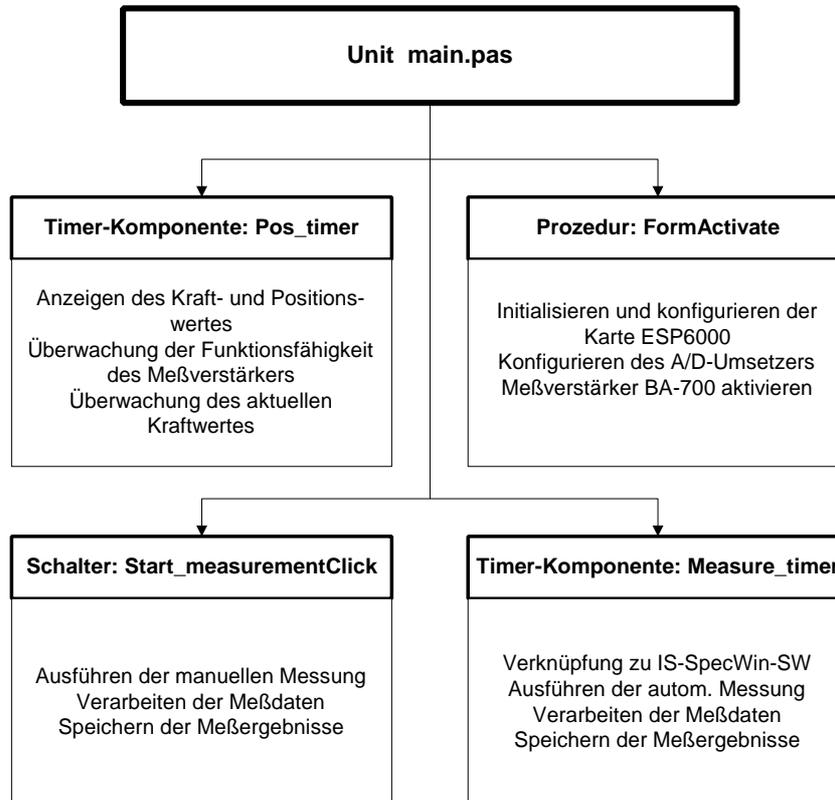


Bild 6-6. Die Unit „main.pas“ des Projekts „F/d measurement“

In diesen vier Prozeduren ist die grundlegende Funktionalität der Unit enthalten. Direkt nach dem Öffnen des Programms führt die Prozedur „FormActivate“ eine Initialisierung und Konfiguration der Komponenten des Haptik-Moduls durch. Eine Messung kann anschließend entweder automatisiert über die „Parameter“-Tabelle der „IS-SpecWin“-Software, oder manuell mit Hilfe der Prozedur „Start_measurementClick“ gestartet werden. Zur automatisierten Messung dient die Zeitgeber-Komponente „Measure-timer“. Eine zweite Zeitgeber-Komponente (Timer) überwacht mit Hilfe der Prozedur „Pos_timer“ die Funktionsfähigkeit des Meßverstärkers und zeigt ständig den aktuellen Kraft- und Positionswert an. Gleichzeitig wird der aktuelle Kraftwert geprüft, damit der Anwender vor einer Überlastung des Kraftaufnehmers (maximal 20 N) gewarnt werden kann. Diese vier Prozeduren werden nun im einzelnen vorgestellt.

· Die Prozedur „FormActivate“

Zu Beginn werden einige Funktionen der DLL's „ESP6000“ und „MEGSV“, die der Initialisierung und Konfiguration der PC-Karte und der Aktivierung des Meßverstärkers dienen, erläutert. Die DLL „ESP6000“ enthält dabei folgende Funktionen:

- Initsystem: Initialisiert den Controller auf der PC-Karte
- setmotortype: Legt den Motor für die Positionierung fest (Gleichstrom od. Schrittmotor)
- setampioconfig: Konfiguriert die Leistungsendstufe für den angeschlossenen Motor
- setadcgain: Legt den Eingangsspannungsbereich des A/D-Umsetzers fest
- setadcrange: Legt die Polarität des Eingangsspannungsbereichs fest

Aus der DLL „MEGSV“ werden lediglich diese Funktionen benötigt:

- gsvactivate: Aktiviert den Meßverstärker BA-700 über die RS-232-Schnittstelle
- gsvsetoffset: Führt einen Nullabgleich des Meßverstärkers durch

Um diese und weitere Funktionen benutzen zu können, müssen sie (ähnlich wie in Abschnitt 6.2, Seite 25, beschrieben) in das Programm „main.pas“ eingebunden werden. Mit der PC-Karte ist es möglich unterschiedliche Positioniersysteme anzusteuern. Deshalb muß die Karte zunächst für die speziellen Eigenschaften des verwendeten Aktuators „850F-HS“ konfiguriert werden. Dazu wird z. B. mit der Funktion „setmotortype“ der angeschlossene Motor festgelegt, indem an die Funktion eine „1“ als Parameter übergeben wird. Der Controller auf der Karte wählt dann den entsprechenden Algorithmus zur Steuerung des Gleichstrommotors aus. Der A/D-Umsetzer wird mit den beiden Funktionen „setadcgain“ und „setadcrange“ konfiguriert. Der Eingangsspannungsbereich kann hier zwischen $\pm 1,25$ V, $\pm 2,5$ V, ± 5 V und ± 10 V mit der Funktion „setadcgain“ eingestellt werden. Für diese Anwendung wird ein Bereich von 0 V bis 5 V benötigt, d. h. ein unipolarer Spannungsbereich. Die Polarität des Spannungsbereichs wird dem Controller durch die Funktion „setadcrange“ mitgeteilt.

Mit Hilfe der Funktion „gsvactivate“ wird die Funktionsfähigkeit des Meßverstärkers überprüft. Ist der Rückgabewert der Funktion „-1“, bedeutet dies, daß die Aktivierung des Verstärkers fehlgeschlagen ist. Anschließend wird mit der Funktion „gsvsetoffset“ ein Nullabgleich des Verstärkers durchgeführt.

Eine weitere wichtige Aufgabe der Prozedur „FormActivate“ ist das Auslesen eines Umrechnungsfaktors. Benötigt wird der Faktor für die Umrechnung der Spannungswerte in die

entsprechenden Kraftwerte. Der Faktor wird aus der Initialisierungs-Datei (INI-Datei) „Haptik.ini“ ausgelesen. In der Datei wurde er nach einer Kalibrierung des Kraftmeßsystems gespeichert (s. Abschn. 7.1). Auf die Datei „Haptik.ini“ wird bei der Beschreibung der automatisierten Kraft-Weg-Messung genauer eingegangen, da sie hier ebenfalls eine wichtige Rolle spielt (s. S. 33). Alle weiteren Funktionen der DLL's sind im Anhang enthalten.

· *Die Prozedur „Pos_timer“*

Diese Prozedur wird von einer Zeitgeber Komponente etwa alle 0,5 s ausgeführt. Dadurch ist ständig der aktuelle Kraft- und Positionswert in dem Fenster des Steuerungsprogrammes zu sehen. Die zwei Funktionen, die zum Auslesen dieser Werte benötigt werden, heißen:

- `getposition`: Ermittelt den aktuellen Positionswert des Aktuators
- `getadc`: Ermittelt den aktuellen Spannungswert des ADU's

Auf diese Funktionen wird im folgenden näher eingegangen, da sie auch für die Durchführung der eigentlichen Messung benötigt werden. Zum Auslesen des Positionswertes müssen der Funktion „`getposition`“ zwei Parameter übergeben werden. Da es mit der PC-Karte möglich ist, mehrere Positionierer zu steuern (insgesamt 4), muß zunächst festgelegt werden, an welchem Ausgang der Leistungsendstufe sich der Positionierer befindet. Dafür wird die Konstante „`AXIS`“ verwendet. Diese teilt der Funktion mit, daß der Positionierer am Ausgang Nummer „1“ angeschlossen ist. Der Konstanten wird also der Wert „1“ zugewiesen. Der zweite Parameter gibt dann die Adresse der Variablen an, in der der Positionswert gespeichert werden soll. Im Programm sieht die entsprechende Befehlszeile wie folgt aus:

`Getposition(AXIS,addr(count));`

Die Konstante „`AXIS`“ ist hierbei vom Typ „`longint`“ (32-bit-Ganzzahl), die Variable „`count`“ vom Typ „`double`“ (reelle Zahl). Der Positionswert wird mit einer Auflösung von 1/10000 mm an die Variable übergeben. Da diese Auflösung für die Anwendung zu hoch ist, wird der Wert vor dem Anzeigen noch gerundet (1/100 mm).

Zusätzlich zu der Konstanten „`AXIS`“ werden für die Funktion „`getadc`“ zwei weitere Variable, deren Adressen ebenfalls übergeben werden müssen, benötigt. Interessant ist für diese Anwendung jedoch nur die Variable „`volts`“. Nach einer Abfrage wird dieser der aktuelle Spannungswert in Volt zugewiesen. Dieser Wert wird dann noch mit Hilfe eines

Faktors in den entsprechenden Kraftwert umgerechnet und angezeigt. Zusätzlich wird überprüft, ob der Wert größer ist als der eingestellte Maximalwert für die Kraft. Ist dies der Fall, werden der Anwender über eine Anzeige informiert und die Leistungsendstufe für den Positionierer abgeschaltet. Die Befehlszeile zum Auslesen des Spannungswertes stellt sich folgendermaßen dar:

Getadc(Axis,addr(volts),addr(timestamp));

Schließlich wird mit der Prozedur auch noch die Funktionsfähigkeit des Meßverstärkers überprüft. Dazu kann eine beliebige Funktion aus der DLL „MEGSV“ verwendet werden, da alle Funktionen im Falle einer Fehlfunktion den Wert „-1“ an die Steuerungssoftware zurückgeben. Ist der zurückgegebene Wert gleich „-1“, wird ebenfalls die Leistungsendstufe abgeschaltet, so daß keine Positionierung mehr möglich ist.

· *Die Prozedur „Measure_timer“*

Diese Prozedur dient der automatisierten Haptik-Messung. Im Prinzip führt sie die gleichen Funktionen wie die Prozedur „Start_measurementClick“ (die Prozedur zum manuellen Starten der Messung) aus. Der wesentliche Unterschied zu der Prozedur „Start_measurementClick“ besteht darin, daß sie eine Verknüpfung zur „Parameter“-Tabelle der „IS-SpecWin“-Software herstellt. Zunächst wird die Realisierung dieser Verknüpfung beschrieben.

Aufgrund der beiden benötigten DLL's „ESP6000“ und „MEGSV“ ist es nicht möglich, das Programm „main.pas“ mit dem 16-bit-Compiler der Entwicklungsumgebung „Delphi 1“ zu übersetzen. Die DLL „XDrv“ kann daher auch nicht wie in Abschnitt 5.3 (s. S. 19) gezeigt zur Realisierung der Verknüpfung genutzt werden. Wie ist es nun dennoch möglich, daß die Programme „main.pas“ und „IS-SpecWin“ miteinander kommunizieren?

Dazu wird zum Starten der Haptik-Messung eine Zeitgeber-Komponente eingesetzt. Diese prüft in kurzen Zeitabständen den Wert der Variablen „start“ aus der Datei „Haptik.ini“. Die „IS-SpecWin“-Software kann ebenfalls mit Hilfe der DLL „XDrv“ den Wert der Variablen „start“ auslesen und ändern. Die Variable „start“ verbindet also die beiden Programme miteinander.

Zum Starten einer Messung aus der „Parameter“-Tabelle heraus wird natürlich zunächst eine weitere Variable für die Tabelle benötigt. Diese Variable („haptik“) wird mit Hilfe der Funktionen der DLL „XDrv“ deklariert. Der Wert der Variablen „haptik“ liefert dann die Information, ob an der entsprechenden Position in der Tabelle, auch eine Haptik-Messung ausgeführt werden soll. Ist der Wert gleich „1“ erfolgt eine Messung. Die Funktion „putnum“

weist zuvor den in die Tabelle eingegebenen Wert der Variablen „haptik“ zu. Eine weitere Zeitgeber Komponente, die in die DLL „XDrv“ integriert wurde, prüft in kurzen Zeitintervallen den Wert der Variablen „haptik“. Ist der Wert gleich „1“ wird der Variablen „start“ in der INI-Datei ebenfalls der Wert „1“ zugewiesen. Das Programm „main.pas“ liest nun wiederum den Wert der Variablen „start“ kontinuierlich aus und beginnt bei einer Änderung des Wertes auf „1“ die Haptik-Messung.

Eine weitere Möglichkeit zur Realisierung der Verknüpfung ist das direkte Starten des Programms „main.pas“ innerhalb der Funktion „putnum“. Dazu muß für jede Messung das Programm neu gestartet werden. Da die Initialisierung der PC-Karte nach einem Programmstart jedoch relativ lange dauert (ca. 15 s), wurde diese Lösungsmöglichkeit nicht verwendet. Auch ist es nicht möglich, innerhalb der Funktion „putnum“ direkt den Wert der Variablen „start“ zu ändern. Deshalb ist die zusätzliche Zeitgeber-Komponente in der „XDrv“-DLL unbedingt erforderlich. Das folgende Bild dient noch einmal der Verdeutlichung des Ablaufs:

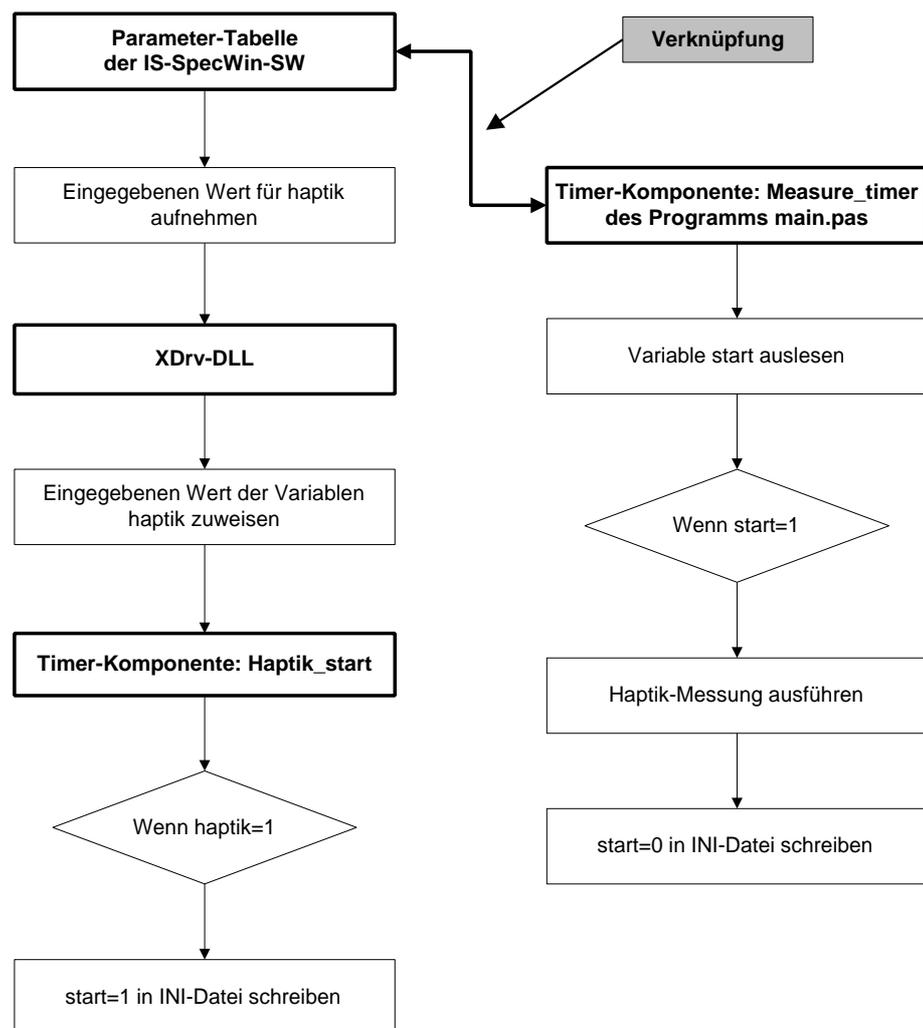


Bild 6-7. Die Verknüpfung zur „Parameter“-Tabelle

Hat also die Variable „start“ den Wert „1“, wird die Messung gestartet. Wie sieht nun der Ablauf für diese Messung aus?

Aus der „Parameter“-Tabelle heraus wird gewöhnlich eine komplette Meßsequenz gestartet. Dabei werden nacheinander die Kraft-Weg-Verläufe unterschiedlicher Tasten eines Gerätes gemessen. Die Meßergebnisse der Sequenz werden dann in einer Datei gespeichert. Um eine Zuordnung vornehmen zu können, welches Meßergebnis zu welcher Taste gehört, werden vor dem Beginn der Meßsequenz zwei weitere Fenster gezeigt. Diese werden von den Units „series.pas“ und „b_names.pas“ zur Verfügung gestellt. Zunächst kann im ersten Fenster die Anzahl der in der Meßsequenz enthaltenen Tasten festgelegt werden. Anschließend wird dann eine Tabelle (mit der entsprechenden Zeilenanzahl) zur Eingabe der unterschiedlichen Tasten-Bezeichnungen geöffnet. Die Bezeichnungen werden in der Reihenfolge des Meßablaufs eingegeben und mit den Meßergebnissen in einer Datei gespeichert. Die Eingabe für den Pfad und den Namen, unter dem die Datei gespeichert werden soll, ist ebenfalls möglich.

Darauf folgt die eigentliche Messung. Als erstes wird dazu die Bewegung des Positionierers auf die zu messende Taste gestartet. Die Geschwindigkeit beträgt hierbei 3 mm/s. Dabei wird ständig der aktuelle Kraftwert (eigentlich der Spannungswert) abgefragt. Sobald dieser größer als 0,3 N ist, gilt die Taste als erkannt, d. h. der Kraftaufnehmer berührt die Taste. Um die Messung aber bei einer Kraft von etwa 0 N beginnen zu können, wird der Kraftaufnehmer dann wieder minimal von der Taste weg bewegt (0,4 mm). Anschließend wird ein Nullabgleich des Meßverstärkers durchgeführt. Die Positionier-Geschwindigkeit wird für die Messung der „Hin“-Kurve, also die Kurve beim Drücken der Taste, auf 0,5 mm/s verkleinert. Mit dieser Geschwindigkeit bewegt sich der Kraftaufnehmer wieder auf die Taste zu und die Speicherung der Meßwerte beginnt. Nacheinander werden der aktuelle Kraft- und Positionswert mit den bereits gezeigten Funktionen der DLL „ESP6000“ (s. S. 32) in einer Schleife abgefragt und in einem Array gespeichert. Die Schleife wird erst beendet, wenn die aktuelle Kraft größer als die zuvor über die Software festgelegte Maximal-Kraft ist. Ist dies der Fall, wird die Bewegungsrichtung umgekehrt und die Messung der „Rück“-Kurve, also die Kurve beim Lösen der Taste, beginnt. Auch hier werden in einer Schleife nacheinander Kraft- und Positionswerte abgefragt und gespeichert, solange bis die aktuelle Kraft ca. 0 N ist. Bei diesem Wert hat der Kraftaufnehmer dann keine Berührung mehr zu der Taste. Damit ist die Messung beendet. Der Kraftaufnehmer wird nun auf seine Startposition zurückgefahren, um Kollisionen zwischen dem Kraftaufnehmer und dem Prüfling beim Anfahren der nächsten Meßposition zu vermeiden. Die Meßwerte für die Kraft und den Weg der beiden Kurven sind jetzt in vier Arrays gespeichert. Der nächste Schritt im Programm ist die Verarbeitung dieser Meßergebnisse.

Zunächst wird der Meßvorgang in einem Struktogramm zusammengefaßt:

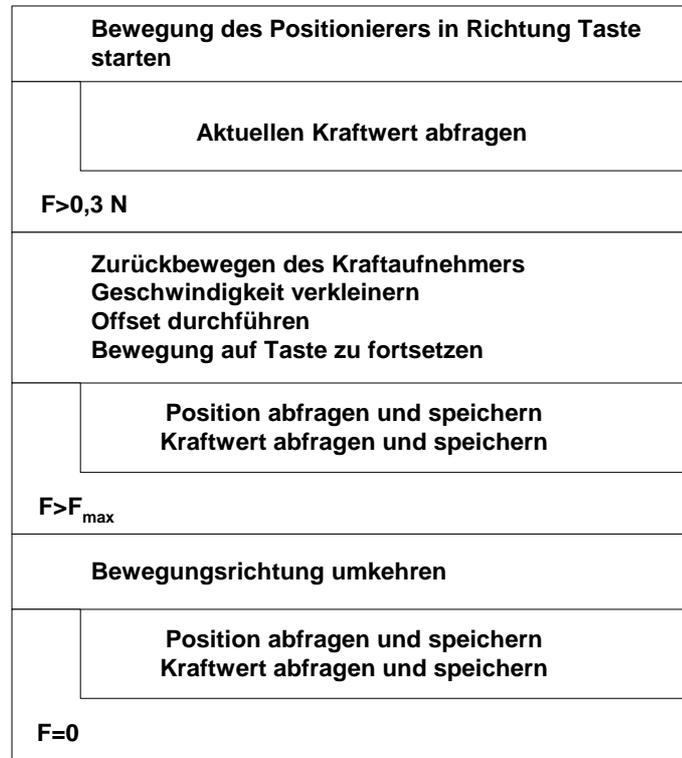


Bild 6-8. Struktogramm des Meßvorgangs

Die Notwendigkeit einer geringen Auslesedauer für Kraft- und Positionswert wird durch diesen Ablauf ebenfalls ersichtlich. Da der Kraftaufnehmer während der Messung kontinuierlich in Bewegung ist, ändern sich Kraft- und Positionswert ständig. Um den Meßfehler möglichst klein zu halten, darf deshalb die Zeit zwischen dem Speichern der Werte nicht zu groß sein (s. Abschn. 7.3).

Die aufgenommenen Wegwerte liegen nun auf die Startposition der Bewegung bezogen vor. Außerdem ist die Auflösung der Werte ($1/10000 \text{ mm}$) für die Messung zu hoch, da hier eine Auflösung von $1/100 \text{ mm}$ gefordert ist. In den Arrays sind bislang nur die den Kraftwerten entsprechenden Spannungen vorhanden. Aus diesen Gründen müssen die Werte, bevor sie in einer Datei gespeichert werden, zunächst verarbeitet werden.

Der erste Schritt dieser Verarbeitung ist das Suchen des ersten Spannungswertes, der größer als 0 V ist. Dieser entspricht dem ersten Meßpunkt. Der dazugehörige Wegwert muß also auf 0 gesetzt werden. Zuvor muß dieser Wegwert von allen folgenden Wegwerten abgezogen werden, damit diese sich auf ihn beziehen. Anschließend werden dann die Wegwerte der beiden Kurven (Hin/Rück) gerundet. Dadurch sind teilweise gleiche Wegwerte in den Arrays vorhanden. Diese werden zu einem Wert zusammengefaßt, indem die zugehörigen Spannungen addiert und gemittelt werden.

Nun erfolgt die Umrechnung der Spannungswerte in die entsprechenden Kraftwerte. Für den Fall, daß nicht alle 1/100 mm ein Meßwert aufgenommen wurde, werden die fehlenden Weg- und Kraftwerte durch Interpolation errechnet und ergänzt. Da die Wegwerte für beide Kurven gleich sind, werden im letzten Schritt die Kraftwerte der „Rück“-Kurve den Wegwerten der „Hin“-Kurve zugeordnet. Bild 6-9 zeigt eine Zusammenfassung der Schritte:

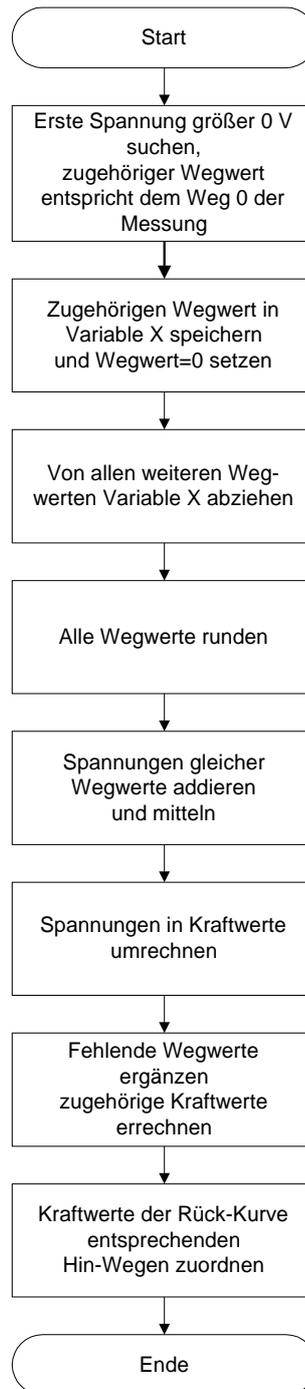


Bild 6-9. Verarbeitung der Meßwerte

Nach der Verarbeitung liegen die Meßergebnisse in drei Arrays vor (für den Weg und die Kräfte der Hin-/Rück-Kurven). Diese Daten werden dann in einer Datei gespeichert, so daß ein späterer Zugriff mit Textverarbeitungsprogrammen oder dem Tabellenkalkulationsprogramm „Excel“ möglich ist. Als Zusatzinformationen werden die Positionen und die Werte der Schalt- und Reaktionskraft als gespeichert. Die Informationen werden zuvor mit Hilfe von Vergleichsoperationen im Programm ermittelt.

- Die Bedienoberfläche des Programmes „main.pas“

Um eine Vorstellung von dem Erscheinungsbild dieses Programms zu erhalten, wird die Bedienoberfläche gezeigt und die wichtigsten Elemente erläutert:

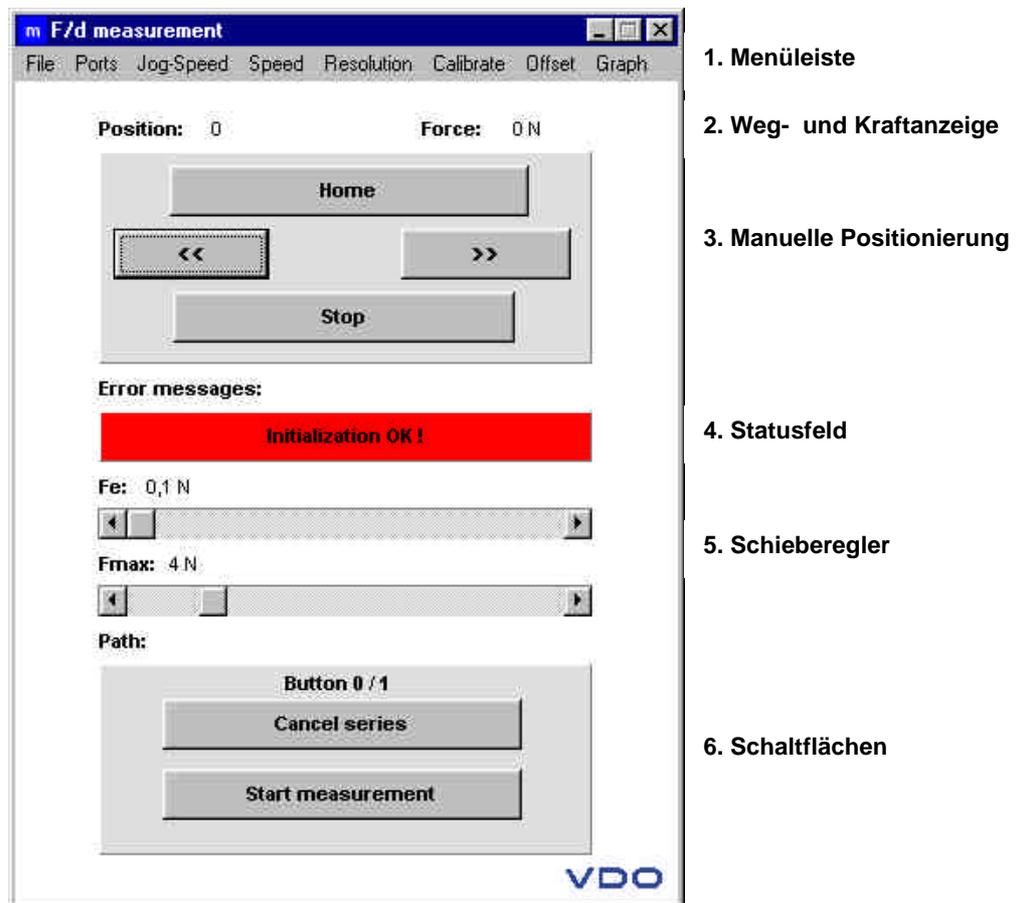


Bild 6-10. Die Bedienoberfläche der Unit „main.pas“

Über die Menüleiste (1) des Programms läßt sich unter anderem:

- die Geschwindigkeit für die Messung einstellen,
- das Programm für die Kalibrierung der Kraftmessung starten,
- ein Nullabgleich des Meßverstärkers durchführen,
- das Programm für die graphische Darstellung der Meßergebnisse starten.

Über die Weg- und Kraftanzeige (2) erhält man den aktuellen Kraft- und Positionswert. Die Schaltflächen für die manuelle Positionierung (3) ermöglichen ein Bewegen des Kraftaufnehmers. Das Statusfeld (4) zeigt aufgetretene Fehler an, z. B. einen Ausfall des Meßverstärkers. Mit den Schiebereglern (5) lassen sich die Maximal-Kraft, bis zu welcher die „Hin“-Kurve aufgenommen wird, und die Vorspannkraft, bei der die Messung beginnt, einstellen. Durch Betätigen der Schaltfläche (6) „Start measurement“ wird eine Messung manuell gestartet. Die Schaltfläche „Cancel series“ dient dem vorzeitigen Abbruch einer Meßsequenz.

6.3.1.2 Unit „graf.pas“

Die Unit „graf.pas“ (ebenfalls aus Projekt F/d measurement) bietet die Möglichkeit die Meßergebnisse einer Einzelmessung oder einer Meßsequenz auf einfache Weise darzustellen. Durch das Einzeichnen von Toleranzfeldern für die Schalt- und Reaktionskraft (mit Hilfe der Unit „definition.pas“) ist sogar eine schnelle Auswertung der Meßergebnisse möglich. Im folgenden werden die grundlegenden Programmstrukturen und Befehle dieser Unit beschrieben.

Zunächst wird natürlich eine Zeichenfläche für die Darstellung der Grafik benötigt. Diese stellt „Delphi“ mit der Komponente „Image“ zur Verfügung. Die Größe der Zeichenfläche ist dabei einstellbar. Für diese Anwendung wird eine Größe von 410 Pixel · 220 Pixel gewählt, so daß mehrere Grafiken auf eine DIN-A4-Seite passen. Mit dem Objekt „Canvas“ lassen sich nun die Farben einzelner Pixel ändern. Dafür verfügt dieses Objekt über unterschiedliche Eigenschaften und Funktionen:

- `canvas.pen.color`: Legt die Farbe des verwendeten Stiftes fest
- `canvas.pen.width`: Legt die Strichstärke des verwendeten Stiftes fest
- `canvas.textout`: Gibt einen Text an einer beliebigen Stelle der Zeichenfläche aus
- `canvas.moveto`: Setzt den Endpunkt einer zu zeichnenden Linie fest
- `canvas.lineto`: Zeichnet eine Linie zu dem Endpunkt
- `canvas.rectangle`: Zeichnet ein Rechteck

Bevor man mit dem Einzeichnen der Meßpunkte beginnen kann, muß die Skalierung für die beiden Achsen (Kraft und Weg) ermittelt werden.

Der Maximalwert für die Skalierung der Y-Achse entspricht der für die Messung eingestellten Maximalkraft. Zur Bestimmung der Meßpunkt-Koordinaten wird dann der Quotient aus der Höhe der Zeichenfläche und der Maximalkraft berechnet. Der Quotient hat die Einheit Pixel pro Newton. Durch Multiplikation des Quotienten mit einem zu zeichnenden Kraftwert erhält man die benötigten Y-Koordinaten.

Die Berechnung der Koordinaten für die Weg-Achse (X-Achse) erfolgt mit dem gleichen Algorithmus. Gebildet wird hier der Quotient aus der Breite der Zeichenfläche und dem Maximalweg. Das Ergebnis der Berechnungen sind die X-Koordinaten der Meßpunkte. Das Einzeichnen eines Meßpunktes in die Zeichenfläche erfolgt mit den Befehlszeilen:

```
image1.canvas.moveto(x_ursprung,y_ursprung);  
image1.canvas.moveto(x,y);  
image1.canvas.lineto(x,y);
```

Zuerst wird der Anfangspunkt der zu zeichnenden Linie festgelegt. In diesem Beispiel werden dazu die Koordinaten des Ursprungs der Zeichenfläche an die Funktion „moveto“ übergeben. Der Endpunkt wird auf gleiche Weise festgelegt. Übergeben werden hier die X- und Y-Koordinaten des Meßpunktes. Anschließend verbindet die Funktion „lineto“ den Anfangs- und Endpunkt mit einer Linie. Auf die Weise werden alle Meßpunkte nacheinander eingezeichnet.

- Die Bedienoberfläche des Programmes „graf.pas“

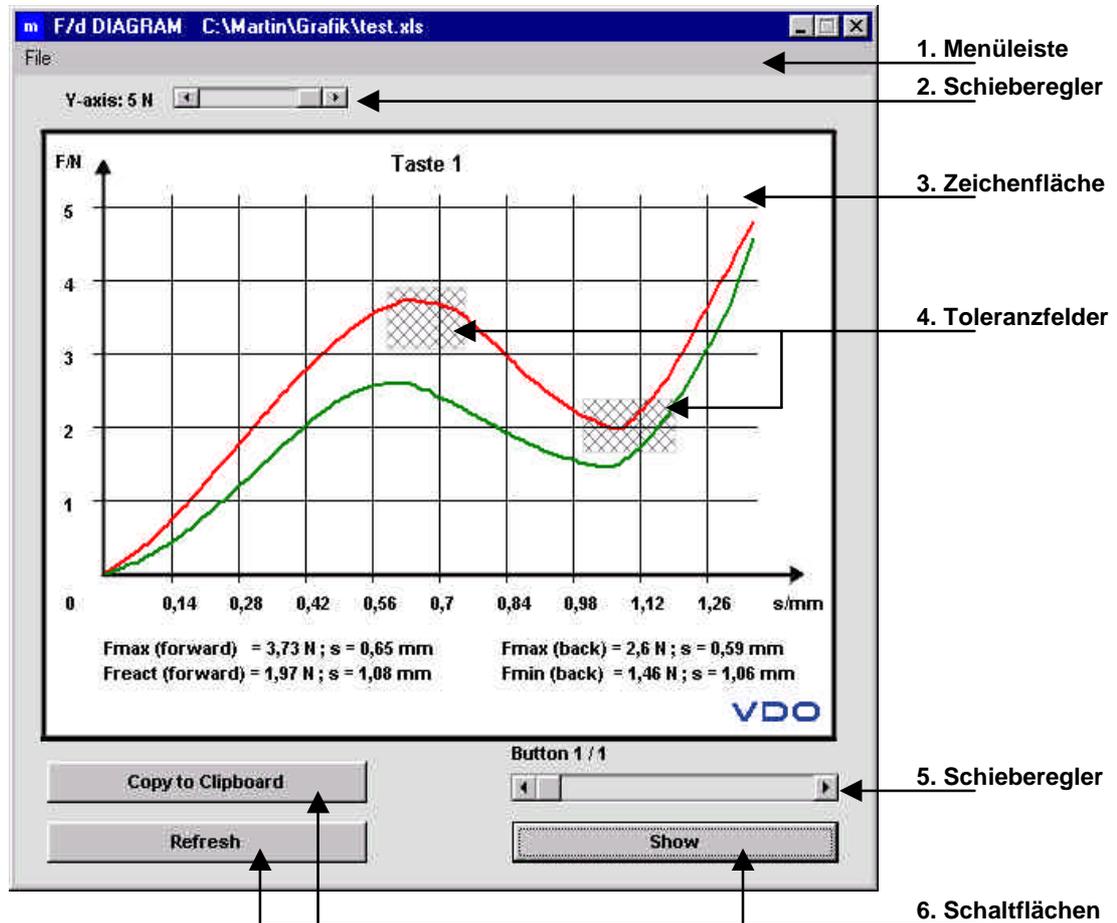


Bild 6-11. Bedienoberfläche der Unit „graf.pas“

Über die Menüleiste (1) lassen sich die gewünschten Meßergebnis-Dateien laden. Der Schieberegler (2) kann zur Änderung der Skalierung der Y-Achsen verwendet werden. Die Zeichenfläche (3) zeigt die „Hin“- und „Rück“-Kurve der Messung. Zur Unterscheidung wird die „Hin“-Kurve rot und die „Rück“-Kurve grün dargestellt. Ebenfalls in der Zeichenfläche enthalten sind der Name der Taste und die Werte für die Schalt- und Reaktionskraft. Die spezifizierten Toleranzen für die Schalt- und Reaktionskraft können auf einfache Weise (mit Hilfe der Unit „definition“) eingegeben, in Dateien gespeichert und angezeigt werden (4). Eine Auswertung der Meßergebnisse ist dadurch auf einen Blick möglich. Mit dem Schieberegler (5) kann zwischen den Darstellungen der Tasten einer Meßsequenz „geblättert“ werden. Die Schaltflächen (6) dienen zum:

- Kopieren der Grafik in die Zwischenablage („Copy to Clipboard“)

- Löschen der Grafik („Refresh“)
- Anzeigen der Grafik („Show“)

Der Quellcode des gesamten Projekts „F/d measurement“ ist im Anhang enthalten.

7 Meßergebnisse und Kalibrierung

Das Kapitel beschreibt die Kalibrierung des Kraftmeßsystems. Das System besteht aus folgenden Komponenten:

- DMS-Kraftaufnehmer
- Meßverstärker
- A/D-Umsetzer

Zunächst wird das Programm „cali.pas“ für die Kalibrierung des Systems erläutert. An Hand einer Meßreihe mit verschiedenen Prüfgewichten wird dann auf die Meßgenauigkeit des Systems eingegangen. Abschließend wird die Genauigkeit der Wegmessung diskutiert.

7.1 Unit „cali.pas“

• Grundlagen

Die Unit „cali.pas“ führt eine Kalibrierung des Kraftmeßsystems durch. Eine Kalibrierung definiert sich als ein Vergleich von Meßgrößen mit bestimmten Meßnormalen. Ziel der Kalibrierung ist es, ein gültiges Verhältnis zwischen der Kraft als Meßgröße und der Ausgangsspannung des Meßverstärkers herzustellen:

$$\vec{F} = f(U) \quad (2)$$

Dazu muß der Kraftaufnehmer mit einer definierten und reproduzierbaren Kraft belastet werden. Verwendet werden dafür verschiedene Massen (Prüfgewichte), die eine Gewichtskraft erzeugen. Der Zusammenhang zwischen Masse und Gewichtskraft lautet:

$$\vec{F}_g = m \cdot g \quad (3)$$

Der Koeffizient zwischen der Kraft und der Erdbeschleunigung g ist die Masse m . Die Masse der Prüfgewichte ist bekannt. Die Erdbeschleunigung muß zunächst für den Ort Wetzlar berechnet werden. Dazu dient die Normalschwereformel:

$$g_{norm} = 978,0318 \cdot [1 + 0,0053024 \cdot \sin^2(f) - 0,0000059 \cdot \sin^2(2 \cdot f)] \text{ gal} \quad (4)$$

Die Einheit „gal“ ist eine zu den SI-Einheiten kohärente Einheit und weist den Zusammenhang auf:

$$1\text{gal} = 1 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2} \quad (5)$$

Somit ist der Mittelwert der Erdbeschleunigung von $9,81 \text{ m/s}^2$ gleichbedeutend mit einem Wert von 981 gal. Der nördliche Breitengrad für Wetzlar ist: $j \approx 50,5570^\circ$

Setzt man den Breitengrad in die Normalschwereformel ein, ergibt sich für die Erdbeschleunigung:

$$g_{\text{Wetzlar}} \approx 9,811190 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Somit ist der Zusammenhang zwischen der auf den Kraftaufnehmer ausgeübten Kraft und der als Meßnormal fungierenden Masse hinreichend genau beschrieben.

· *Funktion der Unit „cali.pas“*

Die Aufgabe der Unit besteht darin, den Umrechnungsfaktor k für den vom ADU gelieferten Spannungswert in den entsprechenden Kraftwert zu ermitteln. Dieser Faktor stellt den Zusammenhang zwischen Spannung und Kraft her:

$$\vec{F} = k \cdot U \quad (6)$$

Die Einheit des Faktors k ist also Newton pro Volt. Folgende Vorbereitungen müssen zum Ermitteln des Faktors getroffen werden:

- ▶ Kraftaufnehmer vom Positionierer lösen
- ▶ Kraftaufnehmer in Schraubstock einspannen

Aus der Menüleiste der Unit „main.pas“ läßt sich das Programm starten. Direkt nach dem Start wird vom Programm ein Nullabgleich des Verstärkers durchgeführt. Über ein Fenster wird der Anwender anschließend aufgefordert die Prüfmasse an den Kraftaufnehmer zu hängen. Mit einer Schaltfläche muß der Anwender das Anhängen bestätigen. Ein zweites Fenster mit lediglich zwei Schaltflächen erscheint. Eine davon dient zum Starten der Kalibrierung, die andere zum Abbrechen der Kalibrierung.

Wird die Kalibrierung gestartet sieht der Programmablauf wie folgt aus:

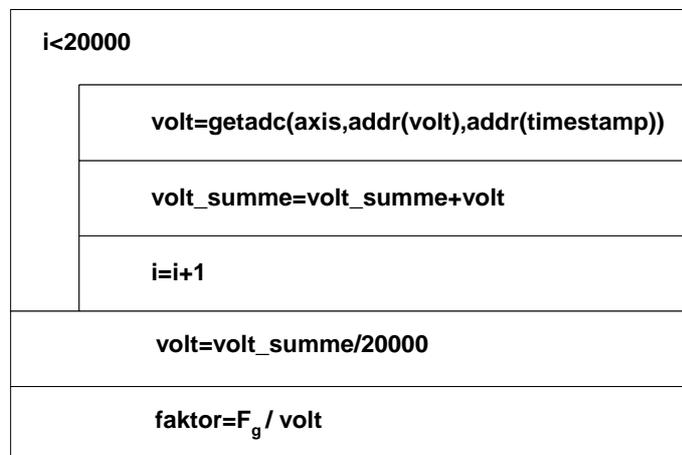


Bild 7-1. Ermittlung des Umrechnungsfaktors k

In einer Schleife wird der aktuelle Spannungswert 20000 mal abgefragt. 20000 Schleifendurchläufe wurden gewählt, damit die Dauer der Kalibrierung nur wenige Sekunden beträgt. Dabei werden die abgefragten Spannungswerte addiert und in der Variablen „volt_summe“ gespeichert. Nach Beenden der Schleife wird der arithmetische Mittelwert der summierten Spannungen gebildet. Der arithmetische Mittelwert stellt einen besseren Schätzwert für den Erwartungswert der Meßreihe als ein einzelner Meßwert dar. Dadurch wird der Einfluß des zufälligen Meßfehlers auf das Meßergebnis verkleinert.

Über die Masse des Prüfgewichts und der Erdbeschleunigung ist zuvor die zugehörige Gewichtskraft F_g berechnet worden. Zum Ermitteln des Umrechnungsfaktors k wird schließlich die Gewichtskraft durch den arithmetischen Mittelwert der Spannungen dividiert. Der Faktor ist nur für das verwendete Prüfgewicht gültig. Da das Kraftmeßsystem jedoch über eine ausreichende Linearität (über den gesamten Meßbereich) verfügt, kann der ermittelte Faktor auch zur Berechnung der Kräfte im gesamten Meßbereich genutzt werden. Ein Meldungsfenster zeigt den neu berechneten und den vorher verwendeten Faktor an. Der Anwender hat dadurch die Möglichkeit die Faktoren zu vergleichen. Erst nach einer Bestätigung (durch Betätigen einer Schaltfläche) wird der neue Faktor für die Haptik-Messung übernommen und in die Datei „Haptik.ini“ geschrieben.

7.2 Kalibriermessung mit verschiedenen Prüfmassen

Zur Prüfung der Linearität und der Meßgenauigkeit des Kraftmeßsystems wird eine Meßreihe mit unterschiedlichen Prüfmassen durchgeführt. Die Ergebnisse der Messungen sind in diesem Abschnitt dargestellt.

Für diese Messungen werden folgende Prüfmassen verwendet:

- 50 g
- 100 g
- 200 g
- 500 g
- 1000 g
- 1500 g
- 2000 g

Nacheinander wird der Kraftaufnehmer mit den aufgelisteten Massen belastet. Ein Programm (ähnlich der Unit „cali.pas“) speichert dann die vom ADU gelieferten Spannungswerte. Eine Schleife im Programm liest die einzelnen Spannungswerte für eine Prüfmasse direkt hintereinander aus. Insgesamt werden für jede Prüfmasse 5000 Spannungswerte in einer Datei gespeichert. Der Meßvorgang für jede Masse dauert nur wenige Sekunden.

Die Meßergebnisse werden am Beispiel der 1000 g Masse gezeigt. Die ersten 100 Spannungswerte der Messung sind im Bild 7-2 dargestellt:

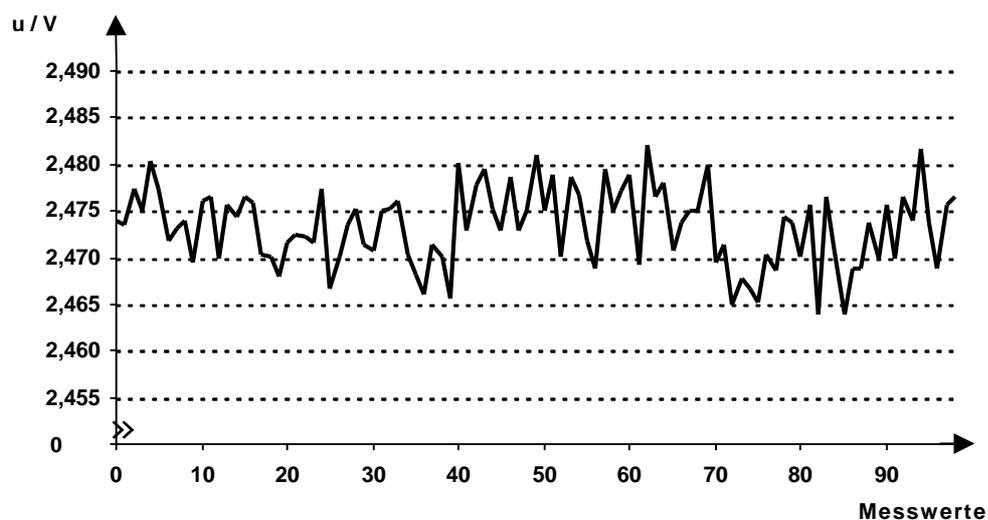


Bild 7-2. Spannungswerte für Prüfmasse 1000 g

Aus Bild 7-2 ist eine zufällige Streuung der Spannungswerte um einen Mittelwert sichtbar. Dieser Mittelwert wird zunächst für die einzelnen Prüfmassen mit folgender Formel berechnet:

$$\bar{U} = \frac{1}{5000} \cdot \sum_{i=1}^{5000} u_i \quad (7)$$

Für die verschiedenen Prüfmassen wird der Umrechnungsfaktor k mit Formel 8 bestimmt:

$$k = \frac{\bar{F}_g}{U} \quad (8)$$

Wobei die den Prüfmassen entsprechenden Gewichtskräfte zuvor berechnet wurden. Die verschiedenen Umrechnungsfaktoren werden addiert und der arithmetische Mittelwert aus der Summe gebildet.

Der Mittelwert beträgt: $\bar{k} = 3,955 \frac{N}{V}$

Außerdem wird die relative Abweichung der einzelnen Faktoren vom Mittelwert berechnet:

$$\Delta k/\% = \frac{k - \bar{k}}{\bar{k}} \cdot 100 \quad (9)$$

Tabelle 7-1 gibt einen Überblick über die Ergebnisse:

Tabelle 7-1. Mittelwert der Spannungen, Faktor k und relative Abweichung Δk der Prüfmassen

m / g	\bar{U} / V	$k / \frac{N}{V}$	$\Delta k / \%$
50	0,125	3,925	-0,76
100	0,249	3,940	-0,38
200	0,496	3,956	+0,03
500	1,237	3,965	+0,25
1000	2,473	3,967	+0,30
1500	3,710	3,967	+0,30
2000	4,945	3,968	+0,33

- m** masse
 \bar{U} Spannungsmittelwert
k Umrechnungsfaktor
 Δk relative Abweichung

Um eine Aussage über die Linearität des Kraftmeßsystems zu erhalten, zeigt das nächste Bild die relative Abweichung Δk der gesamten Prüfmassen vom Mittelwert \bar{k} :

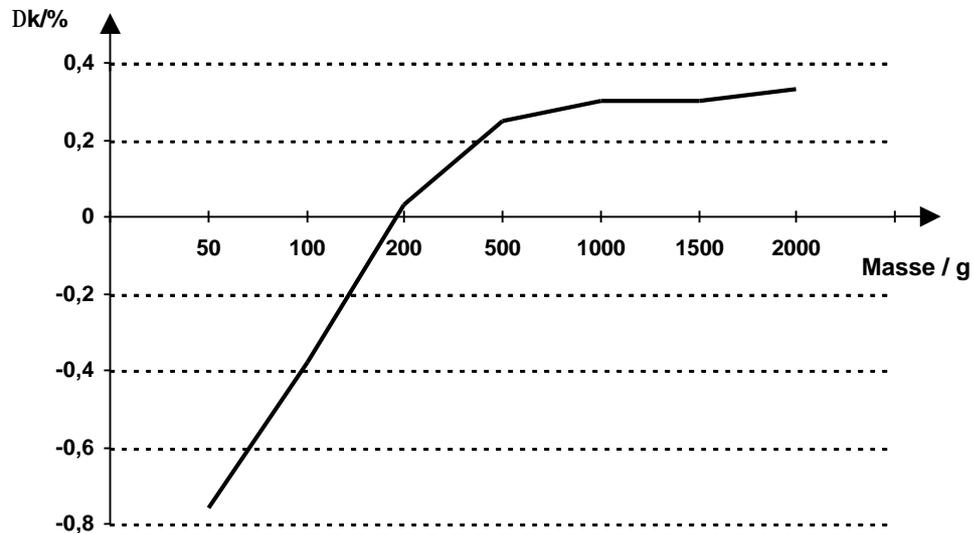


Bild 7-3. Relative Abweichung Δk vom Mittelwert \bar{k}

Die Abweichungen der Umrechnungsfaktoren vom Mittelwert \bar{k} überschreiten den Betrag von 0,8 % nicht. Daher kann von einer ausreichenden Linearität des Kraftmeßsystems für die Haptik-Messung ausgegangen werden. Der Mittelwert \bar{k} kann als Vergleichswert für spätere Kalibrierungen des Kraftmeßsystems herangezogen werden.

Mit Verwendung des Faktors \bar{k} werden im folgenden die maximalen Abweichungen der einzelnen Meßreihen von den tatsächlichen Kraftwerten untersucht.

Dazu wird aus jeder Meßreihe für die verschiedenen Prüfmassen der größte und der kleinste der 5000 Spannungsmesswerte ermittelt. Diese werden dann mit Hilfe von \bar{k} in den entsprechenden Kraftwert umgerechnet. Anschließend werden die relative und die absolute Abweichung vom tatsächlichen Kraftwert berechnet.

Dargestellt werden an dieser Stelle jedoch nur die maximalen positiven Abweichungen der Kraft, da die negativen Abweichungen etwa die gleichen Beträge haben. In den folgenden zwei Bildern sind die Ergebnisse der Berechnungen dargestellt.

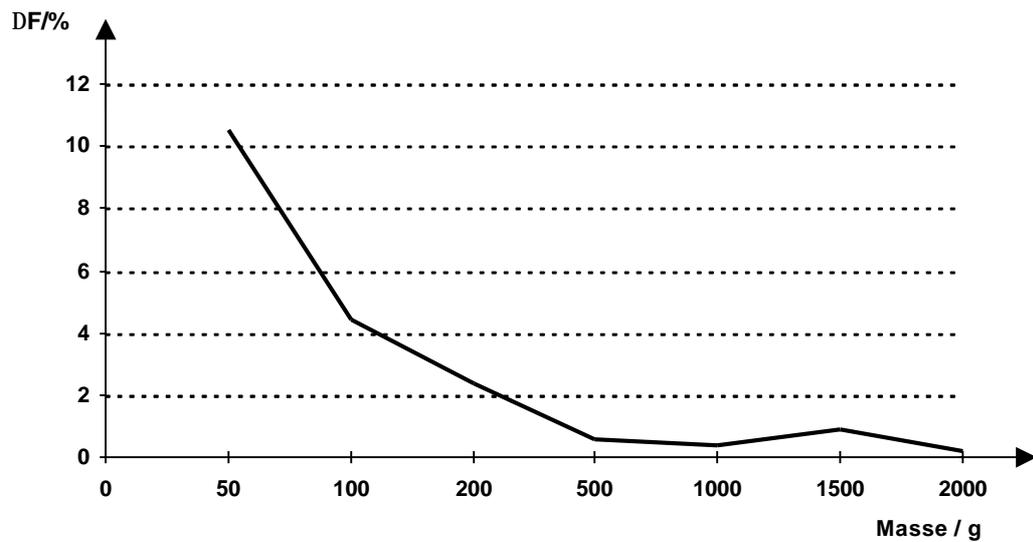


Bild 7-4. Maximale relative Abweichung

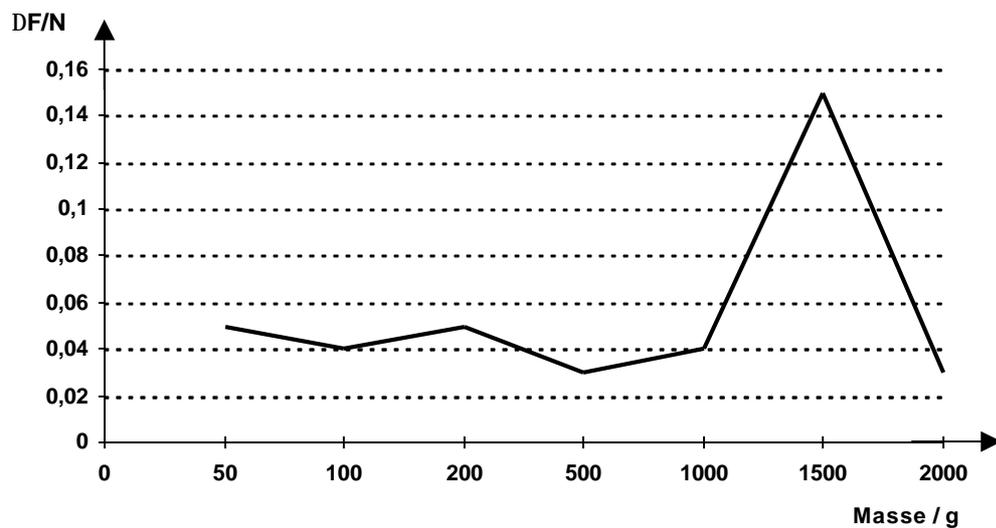


Bild 7-5. Maximale absolute Abweichung

Eine maximale relative Abweichung von über 10 % ($m = 50 \text{ g}$) ist sehr groß. Beim Betrachten des zugehörigen absoluten Fehler von $\Delta F = 0,05 \text{ N}$ zeigt sich jedoch, daß diese Abweichung für die Prüfung der Tasten noch vertretbar ist. Geprüft werden hauptsächlich die Größe und Lage der Schalt- und Reaktionskraft. Diese Kräfte sind in der Regel größer als 3 N. Die von den Automobilherstellern für diese Kräfte zugelassenen Toleranzen liegen etwa bei $\pm 10 \%$. Die Abweichungen in diesem Kräftebereich sind also nicht so groß, daß eine Entscheidung, ob die Tasten den Spezifikationen entsprechen, nicht möglich wäre. Sollen aber in der Zukunft Tasten mit kleineren Schalt- und Reaktionskräften gemessen werden,

empfiehlt es sich, den Meßbereich in zwei Bereiche zu teilen (z. B. den ersten Bereich bis 150 g also ca. 1,5 N). Für jeden Bereich sollte dann ein separater Umrechnungsfaktor k ermittelt werden. Allerdings muß dazu auch die Software modifiziert werden, da diese derzeit nur mit einem Faktor k für den ganzen Meßbereich die Umrechnungen durchführt.

Schließlich werden noch die relativen Abweichungen der Kräfte \bar{F} , die mit den gemittelten Spannungen und dem Faktor \bar{k} berechnet wurden (s. Tab. 7-1), von den richtigen Kraftwerten dargestellt:

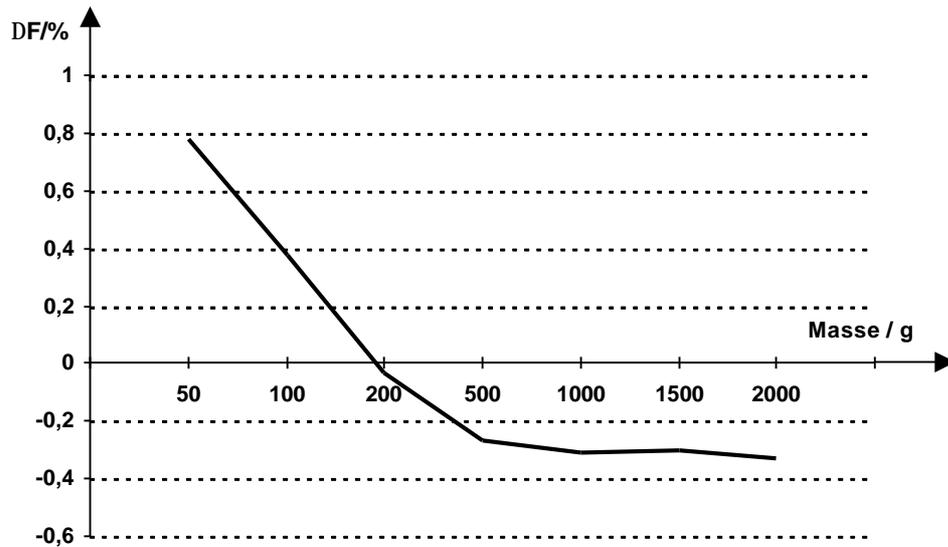


Bild 7-6. Relative Abweichungen der Kraft-Mittelwerte

Diese Abweichungen sind in etwa auch bei einer Messung mit niedriger Positioniergeschwindigkeit zu erwarten. Bei der Messung werden ca. 5 Meßwertpaare pro 1/100 mm von der Software aufgenommen. Die Wegmeßwerte werden anschließend gerundet und zusammengefaßt, da nur ein Wert pro 1/100 mm benötigt wird. Die Kraftmeßwerte werden dabei gemittelt, deshalb sind die Abweichungen mit den Ergebnissen aus Bild 7-6 vergleichbar. Die Abweichungen der Kraftwerte bei den Messungen sind also tolerierbar.

Weitere Untersuchungen der Meßgenauigkeit wurden an dieser Stelle nicht durchgeführt. Dafür gab es zwei Gründe. Zum einen soll der Kraftaufnehmer demnächst durch einen anderen ersetzt werden (s. Abschn. 7.3), zum anderen aus Zeitmangel.

7.3 Betrachtung der Meßergebnisse

In diesem Abschnitt wird die Genauigkeit der Zuordnung von den Kraftwerten zu den entsprechenden Wegwerten während einer Haptik-Messung diskutiert. Außerdem die Genauigkeit der Wegmessung selbst.

- *Zuordnung der Kraft-Weg-Meßwertpaare*

Entscheidend für die Genauigkeit der Zuordnung ist die Geschwindigkeit des Kraftaufnehmers während der Messung. Da der Kraftaufnehmer während der Messung kontinuierlich in Bewegung ist, ändern sich Kraft- und Wegwerte ständig. Die folgenden Überlegungen gelten für eine Positioniergeschwindigkeit von 0,5 mm/s. Die Software nimmt bei dieser Geschwindigkeit durchschnittlich 5 Meßwertpaare pro 1/100 mm auf. Pro 1/100 mm benötigt der Kraftaufnehmer 0,02 s. In den 0,02 s werden 5 Kraftwerte und 5 Wegwerte von der Software gespeichert. Demnach vergehen, zwischen der Speicherung eines Kraftwertes und der Speicherung des zugehörigen Wegwertes, ca. 2 ms. In dieser Zeit wird der Kraftaufnehmer um ca. 1 µm bewegt. Da bei der Messung eine Genauigkeit von 1/100 mm ausreicht, ist der Fehler, der dadurch bei der Zuordnung von Kraftwert zu Wegwert auftritt, vernachlässigbar.

Ein andere Meßablauf wurde ebenfalls getestet. Bei diesem Meßablauf ist der Kraftaufnehmer nicht ständig in Bewegung, sondern stoppt kurzzeitig (alle 1/100 mm), um den Kraftwert auszulesen. So entsteht kein Fehler bei der Zuordnung des Kraftwertes zum zugehörigen Wegwert. Aus folgenden zwei Gründen wurde dieser Meßablauf jedoch nicht verwendet:

- Nicht erklärbare Fehlfunktionen des Positionierers (dieser führte nicht befohlene Bewegungen aus)
- Deutlich größere Meßdauer als bei dem verwendeten Meßablauf

Anmerkung:

Unter Windows können mehrere Anwendungen gleichzeitig in verschiedenen Fenstern laufen (Multitasking). Diese Anwendungen beanspruchen natürlich den Prozessor des Systems. Um eine möglichst hohe Prozessor-Leistung für das Einlesen der Meßwerte zur Verfügung zu haben, sollten deshalb während der Haptik-Messung keine weiteren Anwendungen oder Prozesse gestartet werden.

- *Genauigkeit der Wegmessung*

Die Genauigkeit der Wegmessung entspricht nicht der Genauigkeit des Positionierers. Aufgrund der Bauform des Kraftaufnehmers „C2G4“ kommt es während der Messung zu Verformungen des Antriebsstabes. Da der Ort der Kräfteinführung und der Ort der Befestigung des Kraftaufnehmers am Antriebsstab nicht derselbe ist, wirkt der Kraftaufnehmer während der Messung als Krafthebel (s. Bild 7-7). Der absolute Fehler der Wegmessung beträgt dadurch ca. 0,1 mm (bei einer Belastung des Kraftaufnehmers mit ca. 20 N). Dieser Fehler ist für die Messung nicht akzeptabel. Aus dem Grund soll zukünftig ein Kraftaufnehmer mit einer Bauform verwendet werden, die es ermöglicht die Kraft axial auf den Antriebsstab wirken zu lassen.

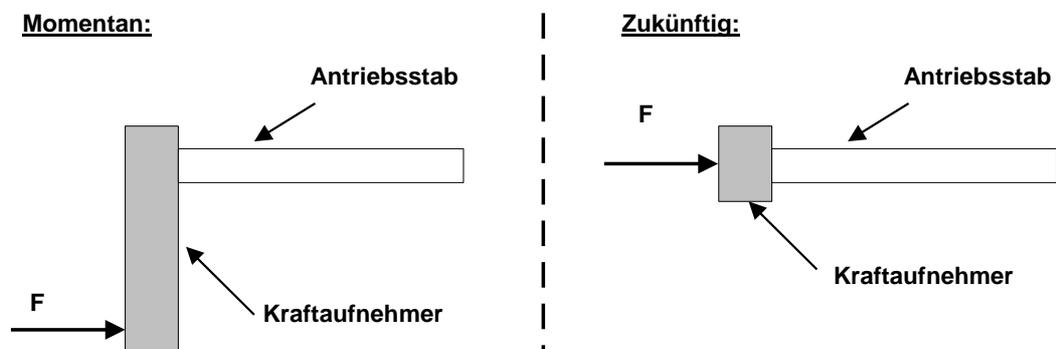


Bild 7-7. Vergleich der Kraftaufnehmer-Bauformen

8 Zusammenfassung

Mit dem Haptik-Modul und der entwickelten Steuerungssoftware ist nun ein kombinierter Prüfablauf für haptische und photometrische Messungen möglich. Eine Prüfung aller Tasten eines Gerätes ist innerhalb einer Meßsequenz automatisiert durchführbar.

Dies wurde durch die Integration des Haptik-Moduls in ein bestehendes optisches Meßsystem erreicht. Das optische Meßsystem verfügt über eine Positionieranlage, die nun auch für die Haptik-Messung genutzt werden kann. Dazu wurde die Steuerungssoftware des Haptik-Moduls in die Steuerungssoftware der optischen Meßanlage eingebunden.

Die für das Modul entwickelte Software ermöglicht:

- Die Steuerung des Positionierers und damit auch des Kraftaufnehmers
- Die Durchführung der Kraft-Weg-Messung an Tastaturen
- Die Verarbeitung der Meßwerte
- Die Speicherung der Meßergebnisse
- Die graphische Darstellung und Auswertung der Meßergebnisse
- Die Kalibrierung des Kraftmeßsystems

Außerdem verfügt die Software über eine Oberfläche, die intuitiv zu bedienen ist. Daher ist keine lange Einarbeitungszeit für das Programm notwendig. Das Projekt „F/d measurement“ ist in einzelne Unterprogramme (Units) aufgeteilt. Dadurch sind spätere Änderungen oder Erweiterungen des Projekts leichter möglich.

Das Haptik-Modul ist jedoch durch die Wahl eines Kraftaufnehmers mit anderer Bauform verbesserbar. Verbessert wird dadurch die Genauigkeit der Wegmessung.

Bewährt haben sich ebenfalls die beiden Steuerungsprogramme für einen Spannungsgenerator und für eine Videogeneratorkarte.

Der Spannungsgenerator dient zur Spannungsversorgung der Prüflinge. Das Programm für den Spannungsgenerator ermöglicht das automatisierte Einstellen unterschiedlicher Spannungen innerhalb einer Meßsequenz.

Das Programm für die Videogeneratorkarte erlaubt das Laden unterschiedlicher Testbilder für Displays und Monitore aus dem Steuerungsprogramm des optischen Meßsystems heraus.

Dadurch wurde der Meßablauf für die optische Messung weiter automatisiert.

9 Summary

The haptical module, together with the developed control software, now enables a combined test process for haptical and photometrical measurements. An automatic test of all buttons of a device is possible within one single measure sequence.

This was performed by integrating the haptical module in an existing optical measurement system. The optical measurement system uses a positioning system, which now is available for the haptical measurement too. For that purpose the control software for the haptical module was integrated into the control software of the optical measurement system.

The developed control software for the module enables:

- Motion control of the actuator and force transducer
- Realization of the force/displacement measurement on keyboards
- Processing of the test points
- Saving of the measurement results
- Graphical representation and evaluation of the measurement results
- Calibration of the force measurement system

In addition to that, the software is easy to use. Therefore it takes not a long time to learn how to use the program. The project "F/d measurement" is divided into single units. Because of this, later modifications and extensions are easily possible.

The haptical module, however, may be improved by choosing a different type of force transducer. By this, the accuracy of displacement measurement can be improved.

The control programs for a voltage generator and a video test generator have also proven to be useful.

The voltage generator is used for the voltage supply of the test objects. The program for the voltage generator enables automatic setting of different voltages within one measure sequence.

The program for the video test generator enables to load different test pictures for displays and monitors from the control program of the optical measurement system.

As a result the measurement process of the optical measurement is automated to a higher degree.