

ARBEITSKREIS BAYERISCHER PHYSIKDIDAKTIKER

BEITRAG AUS DER REIHE:

Werner B. Schneider (Hrsg.)

Wege in der Physikdidaktik

Band 3

Rückblick und Perspektive

ISBN 3 - 7896 - 0513 - 1

Verlag Palm & Enke, Erlangen 1993

Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.

Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.

Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle
genutzt werden. Auf der Homepage

www.solstice.de

werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

CASSY

1. Einleitung

Nachdem viele Jahre Unsicherheit über einen zukünftigen Computerstandard herrschte, haben sich nunmehr MS-DOS-Rechner auch in allgemeinbildenden Schulen und europäischen Hochschulen durchgesetzt. CASSY (Computer Assisted Science System) ist ein Computerinterface, daß für diese Rechnergeneration optimiert ist. Es kann in vielen Bereichen der Ausbildung zusammen mit fertigen Programmen eingesetzt werden. Darüber hinaus gibt es Tools zur Programmierung in Turbo Pascal, so daß es auch allen Spezialfällen angepaßt werden kann.

2. CASSY, Hardware

Es ist unbestritten, daß die Unterrichtstauglichkeit eines Interfaces von der Software und nicht von der Hardware bestimmt wird; dennoch vorab einige Details zur Hardware des CASSY.

CASSY ist ein Familienname und steht für ein System verschiedener Komponenten. Kernstück ist der MS-DOS-Connector, der in einen beliebigen Slot eines MS-DOS-Rechners eingesteckt wird und an den über ein Flachbandkabel ein Modul mit Buchsen für Ein- und Ausgänge (z. B. CASSY-E) angeschlossen werden kann; s. a. Abb. 1.

Folgende technische Daten charakterisieren CASSY grob:

- A/D-Wandler: 2 Stück, je 12 Bit Auflösung
- minimale Abtastzeit ein- oder zweikanalig: $10\ \mu\text{s}$
- maximale Abtastfrequenz entsprechend: 100 kHz
- D/A-Wandler: 2 Stück, je 12 Bit Auflösung
- Timerauflösung für Zeitmessungen: $1\ \mu\text{s}$

CASSY-E besitzt auf der Frontplatte u. a. vier Analogeingänge, wovon zwei sog. Sensor-Steckplätze (SubD 15) sind, auf die Sensorboxen für spezielle Aufgaben gesteckt werden können. So gibt es eine GM-Box, an die unmittelbar ein Geiger-Müller-Zählrohr angeschlossen oder eine Brücken-Box, an der ein Kraftsensor betrieben werden kann, s. a. [1]; es gibt z. Zt. 15 verschiedene Sensorboxen und dazugehörige Sensoren.

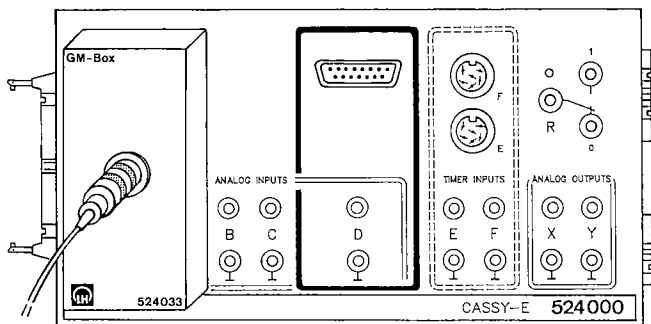


Abb. 1: CASSY-E mit aufgesteckter GM-Box

Neben Sensorboxen, die auf CASSY-E aufgesteckt werden, gibt es auch andere Module, die anstelle von CASSY-E an den MS-DOS-Connector angeschlossen werden können, z.B. das KFZ-Modul zur Kraftfahrzeugdiagnose im berufsbildenden Unterricht oder das weiter unten beschriebene VKA-CASSY für kernspektroskopische Messungen.

3. CASSY, Software

Aufgrund der Erfahrung und vieler Grundsatzdiskussionen mit Fachlehrern wurde parallel zur Hardwareentwicklung besonderer Augenmerk auf die Softwareentwicklung für CASSY gelegt. „Messen und Auswerten“ ist das universelle Meß- und Auswerteprogramm für CASSY. Viele Messungen im Unterricht können mit diesem Programm — mit oder ohne CASSY-Sensoren — durchgeführt werden: z. B. das Oszillographieren an einem Schwingkreis, die Kennlinienaufnahme am Heißluftmotor oder die Ratenmessung eines radioaktiven Präparates [2].

Die Menügestaltung des Programms „Messen und Auswerten“ war beispielgebend für die vielen anderen CASSY-Programme, die es unterdessen gibt; alle sind absolut „absturz sicher“ und damit fehlbedienungs fest. Mit der Escape-Taste kommt man immer einen Schritt in den Menüebenen zurück und man erhält mit der F10-Taste immer eine Hilfe angezeigt, um nur einige Eigenschaften zu nennen. Sensorboxen werden erkannt und für den verwendeten Sensor wird die passende Maßeinheit verwendet. Jedem Programm liegt ein ausführliches Begleitheft bei. Die Meßergebnisse aller Programme können mit zwei Hilfsprogrammen auf der Diskette „LH-Utilities“ (DIFTRANS, ASCTRANS) in Datenformate gewandelt werden, die von üblichen Tabellenkalkulationsprogrammen oder mathematischen Auswerteprogrammen verarbeitet werden können (z. B. ASCII-Format).

Speicheroszilloskop			
Meßgröße A:	Spannung U [V]		
Bereich A:	-0.3 .. 0.3 V		
Trigger:	auf Tastendruck	Meßzeit:	4 s (dt = 10 ms)
Formel:	keine		
Graphik:	U gegen t	Titel:	Magnet-Fluß-Messung
Filename:	FLUSS1.DTO		

Abb. 2: Hardcopy des Kontrollfeldes

Alle Programme stellen sich automatisch auf die jeweils aktuelle Graphikarte (CGA, EGA, VGA, Hercules) ein und unterstützen deren Farbgraphik (außer Hercules); zur Optimierung der Darstellung auf monochromen LCD-Displays kann für alle Karten der Mode „mono“ gewählt werden.

Als Besonderheit der Benutzeroberfläche sei das Kontrollfeld (s. a. Abb. 2) genannt, in dem alle aktuellen Einstellungen angezeigt, zusammen mit den Meßwerten auf Diskette abgespeichert und beim erneuten Laden der Meßergebnisse wieder aktiviert werden.

In den folgenden Beispielen werden einige der CASSY-Programme in Experimenten vorgestellt.

3.1 Induktionsspannungen

Ändert sich in einer Spule der magnetische Fluß, so wird eine Spannung induziert:

$$U_{ind} = -const \frac{d\theta}{dt}. \tag{1}$$

Die magnetische Flußänderung kann man beispielsweise erreichen, indem man einen Stabmagneten von weitem der Spule nähert und in sie einführt (s. a. Abb. 3). Bringt man den Magneten wieder an seinen Ausgangsort zurück, so hat es in der Spule zwei Flußänderungen gegeben, die sich nur im Vorzeichen unterscheiden. Für diesen Fall gilt:

$$\oint U dt = \theta = 0. \tag{2}$$

Um diese Aussage experimentell zu bestätigen, müssen alle durch die Bewegung des Magneten induzierten Spannungen gemessen und anschließend addiert werden. Das ist mit dem Teilprogramm „Oszilloskop“ von „Messen und Auswerten“ möglich.

Bei der Messung (Abb. 4) wurde der Magnet schnell in die Spule hineingeschoben und langsam wieder herausgezogen. Deshalb sind gemäß Gleichung (1) die maximalen Spannungswerte für beide Bewegungen unterschiedlich. Um Gleichung (2) zu erfüllen, müssen jedoch beide Flächeninhalte gleich sein.

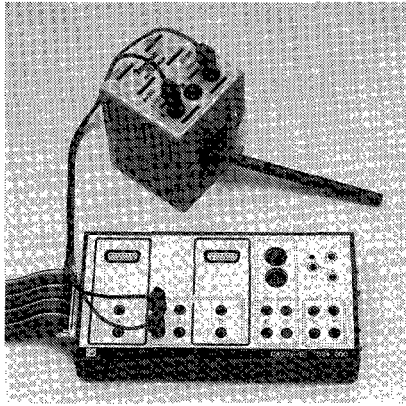


Abb. 3: Versuchsaufbau zur magnetischen Induktion

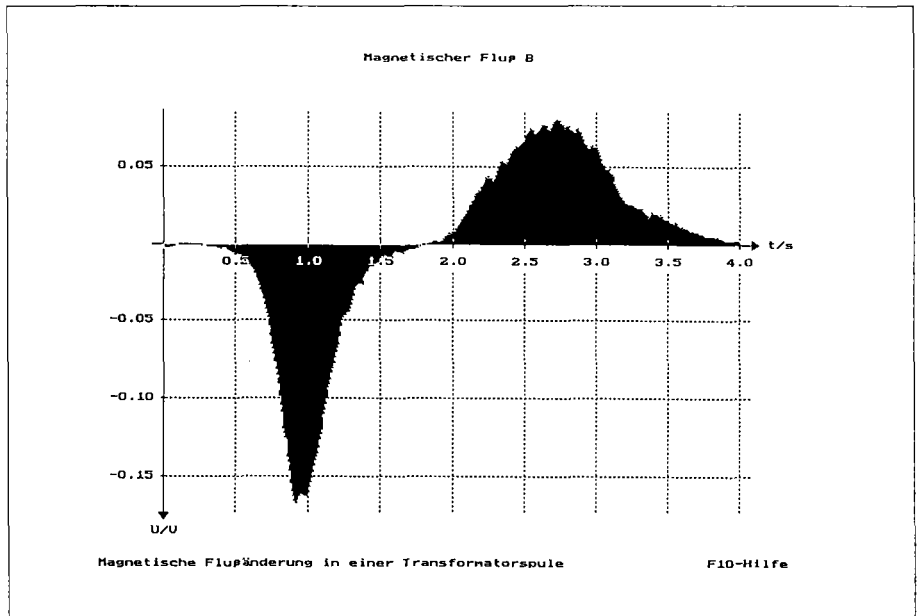


Abb. 4: Oszillogramm der magnetischen Flußänderung

Das Meßergebnis ist zunächst ein Oszillogramm der zeitlich veränderlichen Induktionsspannung an der Spule auf das die reichhaltigen Auswertemöglichkeiten des Programmes „Messen und Auswerten“, u. a. numerische Integration einer frei wählbaren Fläche, angewandt werden. Sie ergibt für den negativen Kurventeil $\theta = -0,0442$ Vs und für den positiven $\theta = 0,0443$ Vs. Die Differenz dieser beiden Werte ist in Abb. 4 als Integral über die gesamte Kurve eingeblendet und beträgt $\theta = 0,0001$ Vs, ein Ergebnis, daß mit hinreichender Genauigkeit im Rahmen eines Schulexperimentes Gleichung (2) bestätigt.

3.2 Gedämpfte und ungedämpfte Federschwingungen

Die Gesetzmäßigkeit über die Schwingungsdauern von Schraubenfedern lassen sich sehr lehrreich im Schülerversuch durchführen. Erweitert man diese Experimente jedoch auf die Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Dämpfung auf den zeitlichen Verlauf einer Schwingung, ist ein computergestütztes Experiment sehr sinnvoll.

Die Auf- und Abbewegung des Massestückes wird mit dem Bewegungs-Sensor gemessen. Er besteht im wesentlichen aus einem sehr leichten, spitzengelagertem Rädchen mit 23 kleinen Löchern das von zwei Lichtschranken umfaßt wird. Beim Drehen des Rädchens erzeugen sie um 90° phasenverschobene elektrische Signale, aus denen der vom Rädchenumfang zurückgelegte Weg, die Drehrichtung und die Zeit zwischen zwei Impulsen bestimmt wird. Der Bewegungs-Sensor wird am CASSY zusammen mit der BMW-Box benutzt.

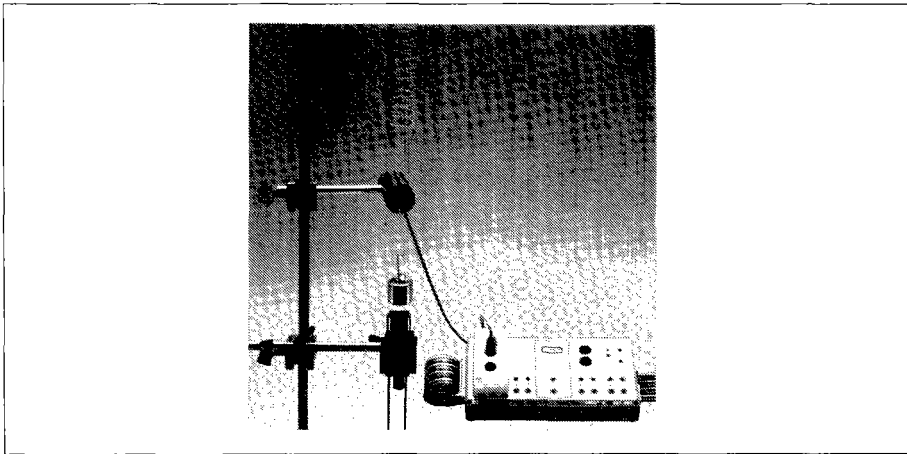


Abb. 5: Versuchsaufbau zur Messung von Federschwingungen mit dem Bewegungs-Sensor, der BMW-Box und CASSY

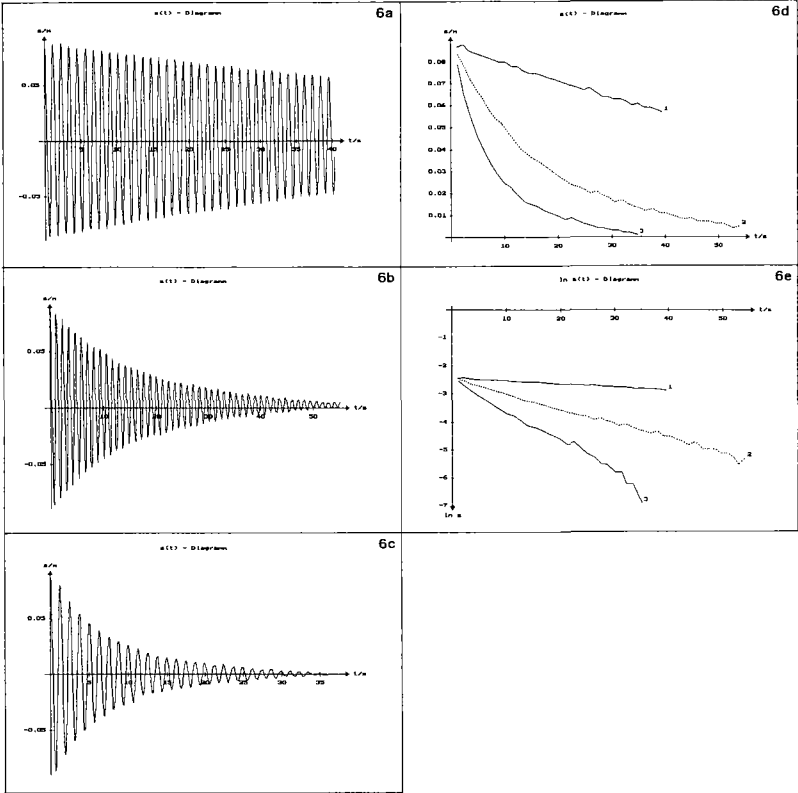


Abb. 6: Meßergebnisse der Federschwingung bei unterschiedlicher Dämpfung; Darstellung der Einhüllenden in linearer und logarithmischer Darstellung

Auf dem Umfang des Rädchens ist eine Rille zur Schnurführung angebracht über die ein dünner Faden zum Antrieb geführt werden kann. Für die Durchführung und Auswertung der Messungen gibt es das Programm „Bewegungsmeßwandler“ [3].

Eine Schraubenfeder wird gemäß Abb. 5 aufgehängt. Der dünne Faden zwischen Feder und Massestück berührt dabei leicht die Laufrolle des Bewegungs-Sensors. Der Haltemagnet, über das Relais des CASSY an eine Spannungsquelle angeschlossen, hält das Massestück. Beim Start der Messung öffnet das Relais und die Schwingung beginnt. Auf das Massestück werden unterschiedlich große Pappen zur Luftdämpfung angebracht.

Die Abb. 6a bis 6c zeigen drei Messungen mit unterschiedlicher Luftdämpfung. Bereits der Augenschein zeigt einen sehr starken Einfluß der Luftreibung. Die graphische Auswertung erlaubt darüber hinaus die Darstellung aller Maxima (oder Minima, Abb. 6d) und die Umrechnung in einen anderen Maßstab (z. B. logarithmisch, Abb. 6d). Man erkennt daran, daß bei nicht zu starker Dämpfung die Amplitudenabnahme exponentiell erfolgt. Bei sehr stark gedämpften Schwingungen (Kurve 3, Abb. 6e) kann man das nicht mehr feststellen.

3.3 Kraftmessungen

3.3.1 Kraft-Sensor

Der Kraft-Sensor besteht aus einem präzisen Parallel-Biegebalken, auf dem vier DMS (Dehnungsmeßstreifen) angeordnet sind, deren elektrische Widerstände in einer Brückenschaltung ausgewertet werden. Er befindet sich in einem soliden Metallgehäuse und besitzt einen mechanischen Anschluß zum Befestigen an Stativmaterial. Die Experimente können an einem Kunststoffteil an der Vorderseite befestigt werden. Sowohl mit dem Adapter zum Newtonmeter als auch mit der Brücken-Box für CASSY bietet der Kraft-Sensor drei Meßbereiche: ± 10 mN, ± 100 mN, ± 1 N. Die größte Auflösung beträgt 0,1 mN; höhere Auflösungen sind bei erschütterungsfreier Aufstellung möglich. In jedem (!) Meßbereich kann eine Tara von bis zu ± 3 N elektronisch kompensiert werden. Dadurch ist es möglich, relativ schweres Experimentiergerät (z. B. Leiterschleifen, Kondensatorplatten) an den Kraft-Sensor zu befestigen und sehr kleine Kräfte bei hoher Auflösung zu messen.

3.3.2 Leiterschleife im homogenen Feld einer Luftspule

Die Kraftmessung im homogenen Magnetfeld einer Luftspule bietet den Vorteil, daß die magnetische Flußdichte B leicht berechnet und mit dem aus der Kraftmessung erhaltenen Wert verglichen werden kann. Damit ist es möglich, dem Schüler die physikalische Größe „Flußdichte B “ transparent zu machen und ihm Größenordnungen für Werte von B zu vermitteln.

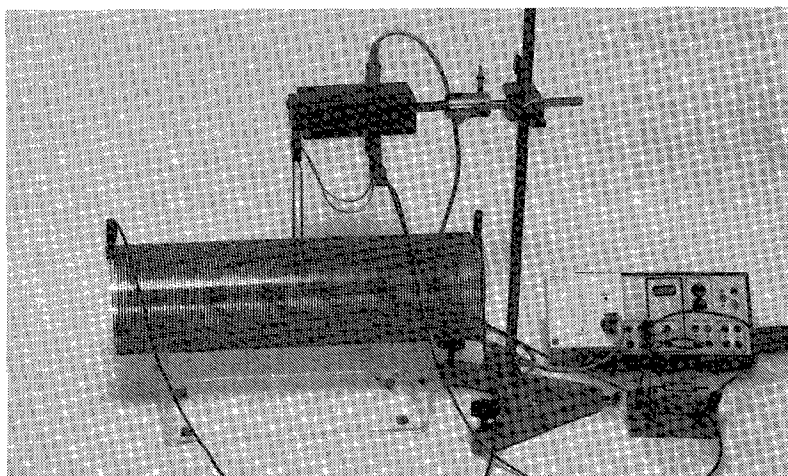


Abb. 7: Versuchsaufbau zur Kraftmessung mit dem Kraftsensor in einer Luftspule

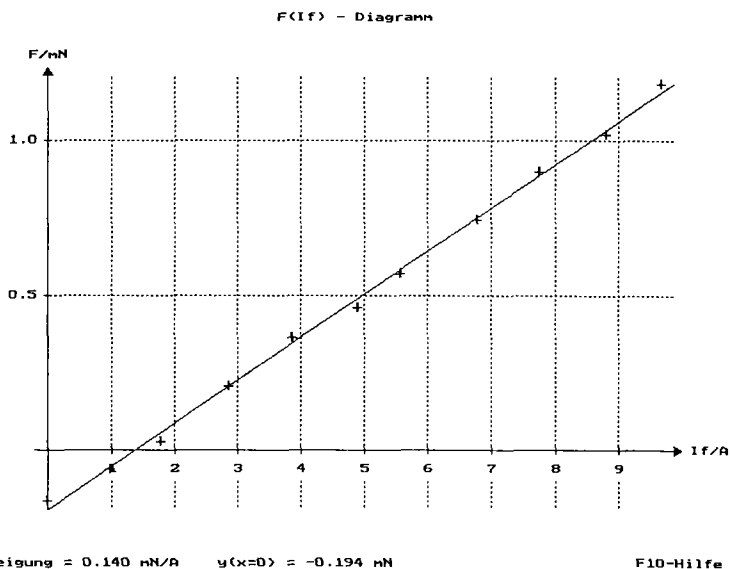


Abb. 8: Kraft auf eine Leiterschleife in einem homogenen Magnetfeld einer Luftspule als Funktion des Leiterschleifenstromes; $I_{sp} = 4,9 \text{ A}$

Ein homogenes Magnetfeld wird in einer langen Feldspule erzeugt, wobei eine am Kraft-Sensor befestigte Leiterschleife von 8 cm Länge in einen Schlitz der Feldspule eingetaucht werden kann (s. Abb. 7). Die beiden parallelen Teile der Leiterschleife erfahren im Magnetfeld, eine dem Betrag nach entgegengesetzte Kraft, so daß nur die Kraftkomponente, die auf den restlichen horizontalen Teil des Leiters, der die magnetischen Feldlinien senkrecht schneidet, gemessen wird. Bei konstanter Flußdichte B ist die Kraft F proportional dem Leiterstrom I_f mit der Länge l_f . Es gilt:

$$F = l_f \cdot B \cdot I_f \quad [\text{N}] \quad \text{oder} \quad B = \frac{F}{l_f I_f} \quad [\text{Vs/m}^2]. \quad (3)$$

Mißt man F in Abhängigkeit vom Strom I_f bei konstanter Leiterlänge l_f , stellt die Steigung der Geraden die magnetische Flußdichte dar.

Für die Kraftflußdichte B einer langen Luftspule gilt:

$$B = \mu_0 n \frac{I_{sp}}{l_{sp}} \quad [\text{Vs/m}^2], \quad (4)$$

mit

B magnetische Flußdichte

μ_0 relative Permeabilität; $1,256 \cdot 10^{-6} \text{ [Wb/Am]}$

n Windungszahl der Luftspule

I_{sp} Spulenstrom

l_{sp} Länge der Spule.

In Abb. 8 ist eine Messung wiedergegeben. Der Strom wurde von Hand eingestellt und zusammen mit der Kraft zweikanalig registriert.

Auswertung:

- B berechnet	Spulenlänge l_{sp}	= 0,41 m
	Windungszahl n	= 120
	Spulenstrom I_{sp}	= 4,9 A
	$\Rightarrow$	$B_{th} = 1,8 \text{ mT}$

- B aus Kraftmessung	Leiterlänge l_f	= 0,08 m
	Steigung F/I_f	= 0,14 mN/A (s. a. Diagramm)
	$\Rightarrow$	$B_{exp} = 1,75 \text{ mT}$

Die beiden Ergebnisse stimmen im Rahmen der schulüblichen Meßgenauigkeit sehr gut überein.

3.3.3 Leiterschleife im homogenen Feld zwischen den Polschulen eines Elektromagneten

Wie das vorige Experiment zeigt, lassen sich in Luftspulen trotz relativ großer Ströme nur kleine magnetische Flußdichten B erzeugen; eisengefüllte Spulen beheben diesen Nachteil. Die Materialkonstante μ_r beschreibt den Zuwachs. Dennoch ist die Berechnung der Flußdichte einer eisengefüllten Spule wegen der Sättigung und des Einflusses des Luftspaltes nicht so einfach. Mit Kraftmessungen lassen sich die magnetischen Flußdichten auch in solchen komplizierten Fällen sicher bestimmen; mit den Ergebnissen können wiederum andere Meßgeräte (Teslameter) abgeglichen werden.

In Abb. 9 ist der Versuchsaufbau zur Bestimmung der Abhängigkeit der Kraft F von der Länge l_f der Leiterschleife zwischen den Polschuhen eines Elektromagneten wiedergegeben. Die beiden schweren Polschuhe ruhen auf dem Eisenkern des zerlegbaren Trafos; die seitlichen Ständer lassen sich hierzu in ihrer Höhe verändern. Eine massive Messingstange hält die Polschuhe absturzsicher zusammen. Der Spalt kann durch Verschieben eines der beiden Polschuhe verändert und mit nichtmagnetischen Abstandshaltern justiert werden.

In Abb. 10 ist die auf die Leiterschleife wirkende Kraft F als Funktion des Leiterschleifenstroms I für Leiterschleifen der Länge 2 cm, 4 cm und 8 cm aufgetragen. Die Steigungen

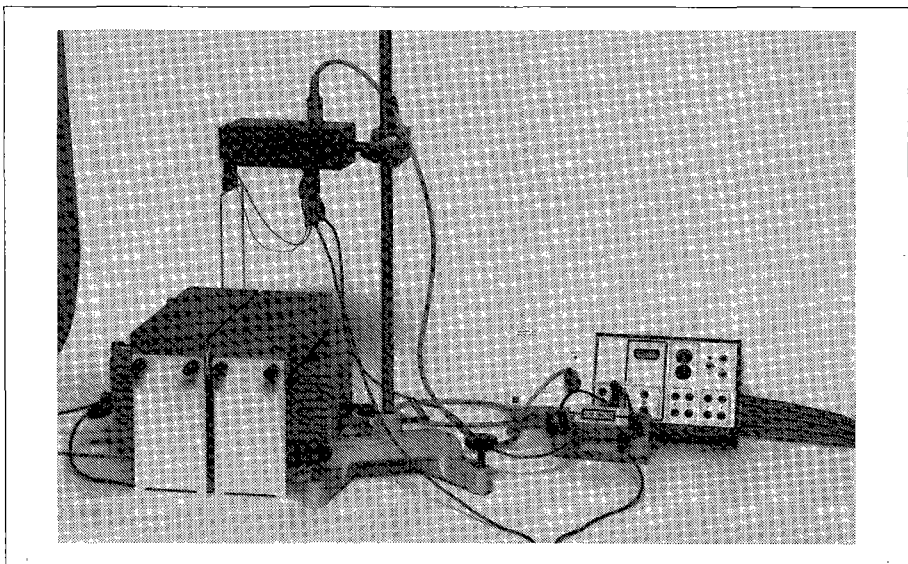


Abb. 9: Versuchsaufbau zur Kraftmessung mit dem Kraftsensor in einem homogenen Magnetfeld zwischen Polschuhen

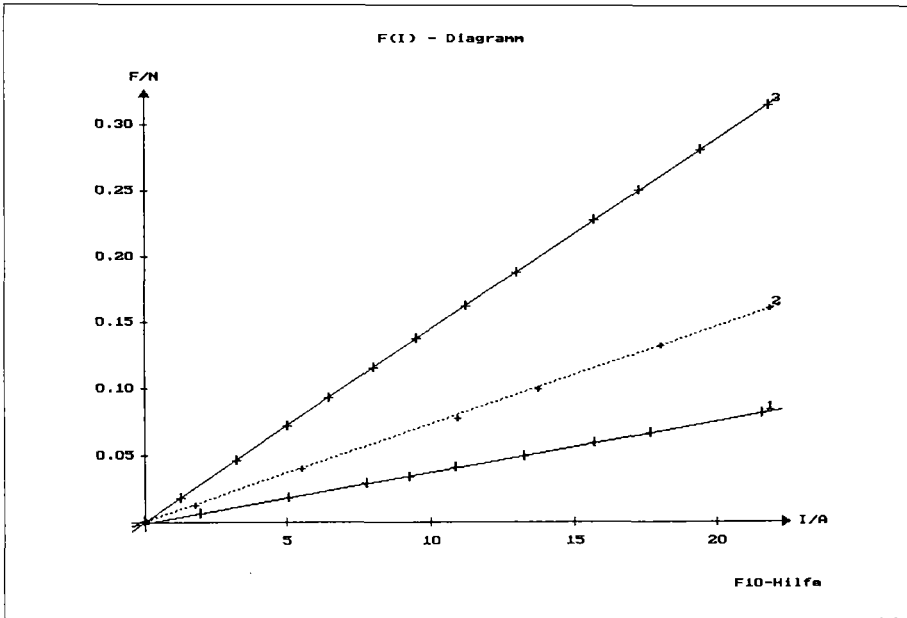


Abb. 10: Kraft auf Leiterschleifen im homogenen Magnetfeld zwischen zwei Polschuhen in Abhängigkeit vom Leiterschleifenstrom für die Leiterschleifenlängen 2 cm, 4 cm, 8 cm

der Mittelwerte verhalten sich wie 0,0037:0,0072:0,0144 (in N/A) $\approx$ 2:4:8 entsprechend der Leiterschleifenlängen. Dieser Versuchsaufbau kann auch für andere Experimente benutzt werden, z.B. Untersuchung der Homogenität des Feldes zwischen den Polschuhen.

3.4 Transientenrekorder

Das Programm „Transientenrekorder“ ist ein vierkanaliges Oszilloskop-Programm. Selbstverständlich unterstützt auch dieses Programm die Verwendung von Sensorboxen. Außerdem wird CASSY im sog. DMA-Modus benutzt. In dieser Betriebsart werden die Daten des A/D-Wandlers unter Umgehung des (evtl. langsamen) Mikroprozessors unmittelbar in den Speicher geschrieben. Dadurch ist auch mit den langsamsten MS-DOS-Rechnern eine minimale zeitliche Auflösung von 10 μ s beim Ein- oder Zweikanal-Oszilloskop möglich.

Im Auswertemodus erlaubt das Programm die Frequenzanalyse mittels FFT (Fast Fourier Transformation). Die FFT ist eine computergerechte Weiterentwicklung der klassischen „Harmonischen Analyse“. Sie verwendet grundsätzlich 2^N Stützstellen (das Programm rechnet mit bis zu 2048 Stützstellen) und sie benötigt nicht unbedingt eine ganze Anzahl von

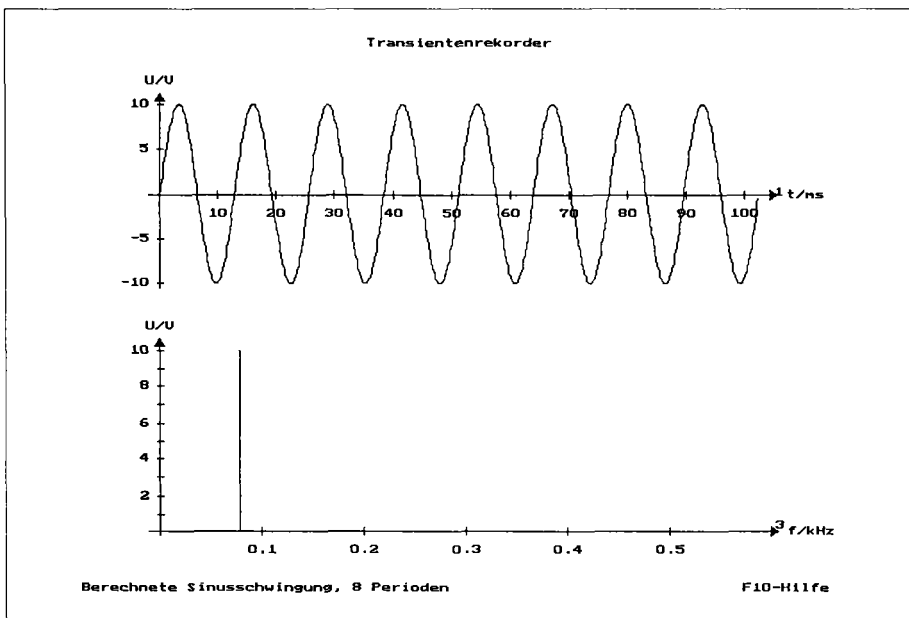


Abb. 11: Berechnete Sinusschwingung mit exakt 8 Perioden und die dazugehörige FFT

Perioden für die Berechnung des Frequenzspektrums, das linear oder logarithmisch dargestellt werden kann. Es können in Wissenschaft und Meßtechnik bewährte mathematische Korrekturverfahren zu- und abgeschaltet werden. Mathematische Koprozessoren werden unterstützt.

Zur Vertiefung des Verständnisses für die Arbeitsweise der FFT kann das Programm im Simulationsmode gestartet werden. Anstelle gemessener Schwingungen werden berechnete dem Analyseverfahren unterworfen. Als Sonderfall läßt sich so u. a. zeigen, daß die „Harmonische Analyse“ für ganzzahlige Perioden einer Schwingung ein Sonderfall der FFT ist. Im folgenden sind einige Analyseergebnisse wiedergegeben.

Abb. 11 zeigt eine berechnete Sinusschwingung mit exakt 8 Perioden ohne Oberwellen und die dazugehörige FFT. Man erhält für diesen Spezialfall fall wie mit einer klassischen „Harmonischen Analyse“ als Frequenzspektrum ebenfalls nur eine einzige Linie.

In Abb. 12 sind die gedämpften Schwingungen eines einzelnen und zweier gekoppelter Schwingkreise (Abb. 13) wiedergegeben. Die Analyse der gekoppelten Schwingung mit der FFT ergibt eine Aufspaltung in zwei symmetrisch zur Grundfrequenz liegenden Frequenzen, die weiter aufspalten, wenn noch mehr identische Schwingkreise angekoppelt werden.

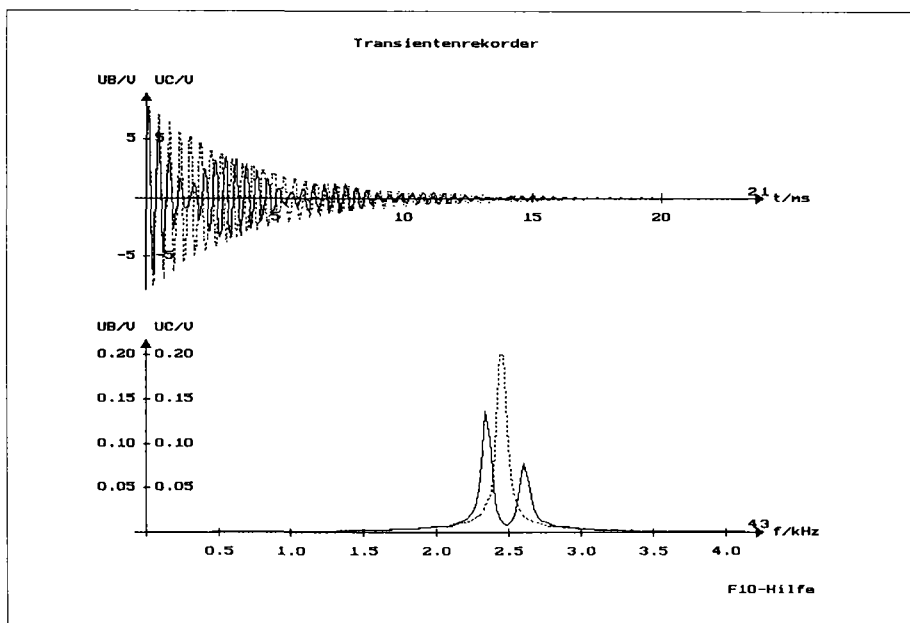


Abb. 12: Gedämpfte Schwingung eines einzelnen und zweier gekoppelter Schwingkreise sowie die dazugehörige FFT

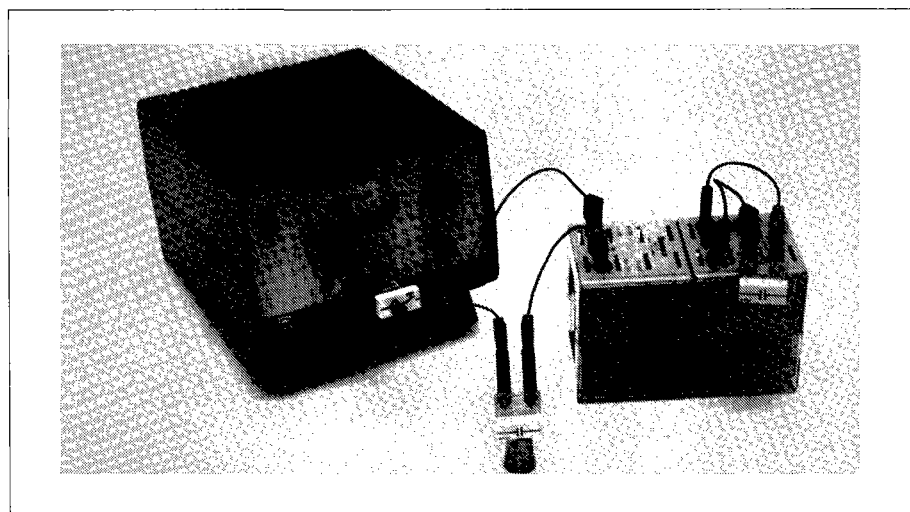


Abb. 13: Versuchsaufbau zur Kopplung von Schwingkreisen

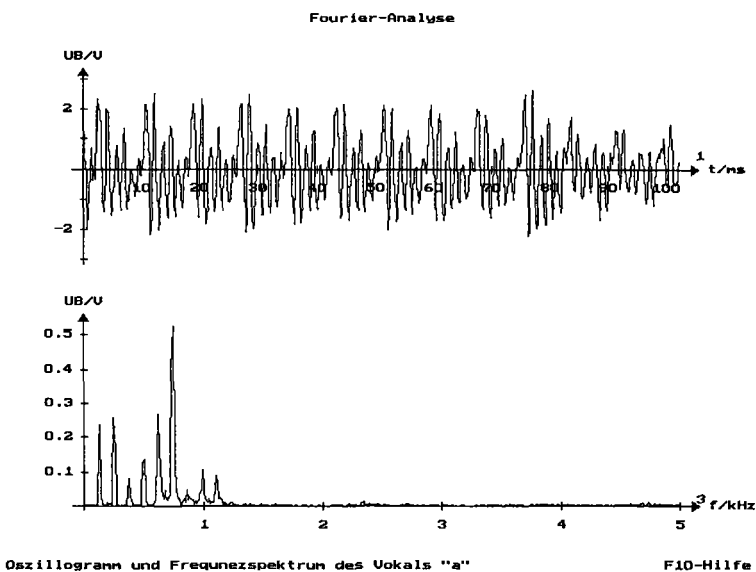
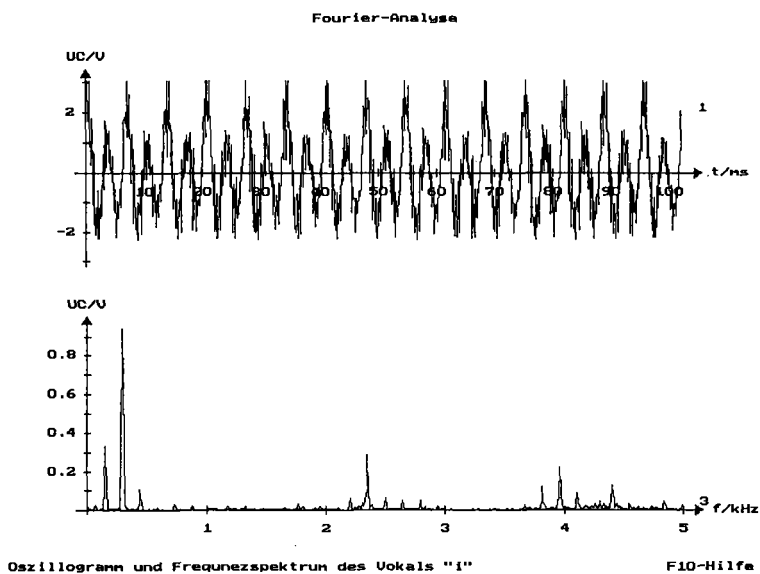


Abb. 14: Vokale „a“ und „i“ mit einem Mikrophon registriert und die dazugehörigen FFTs

Einen besonders einfachen Experimentieraufbau erhält man mit einem kurzschlußfestem Netzgerät: einer der beiden Schwingkreise wird daran angeschlossen und auf die beiden Spannungsausgänge ein Taster gesteckt. Das Netzgerät lädt den Kondensator auf. Bei Drücken des Tasters wird die gedämpfte Schwingung gestartet.

In Abb. 14 werden die Oszillogramme der Vokale „a“ und „i“ und ihre FFT gegenübergestellt. Die Messung erfolgte mit einem Mikrophon.

3.5 Transformator

Das Transformator-Programm ist ein sehr spezielles vierkanaliges Oszilloskop-Programm, optimiert für 50 Hz. Strom und Spannung an der Primär- und Sekundärspule können gleichzeitig dargestellt, Phasenwinkel ($\cos \varphi$), Wirk- und Blindleistung können auf Wunsch als Zahlenwerte eingeblendet werden.

Die Arbeitsweise eines Transformators wird durch dieses Programm sehr transparent. Man erkennt z. B. die Notwendigkeit, bei induktiver Last die Phase durch zusätzliche Kondensatoren zu korrigieren (Beispiel: Lampen mit Gasentladungsröhren), um zu hohe Blindströme zu vermeiden. Für Fortgeschrittene eignet sich ein durchstimmbarer 50-Hz-Schwingkreis besonders gut als Last. Er wird aus einem Eisenkern, einer Spule 1000 Windungen und einem Kondensator mit $40\ \mu\text{F}$ gebildet (Abb. 15). Durch Verschieben des I-Kerns kann die Resonanzfrequenz kleiner, gleich oder größer 50 Hz eingestellt werden. Im Resonanzfall

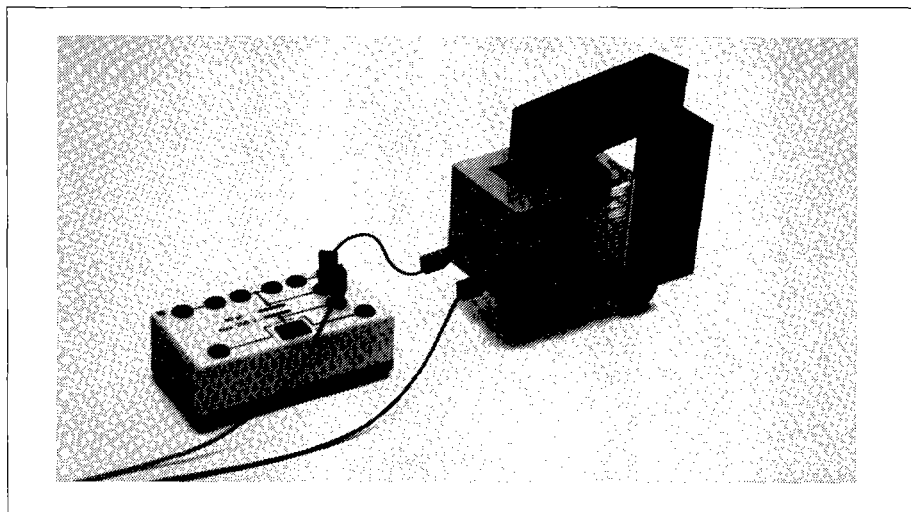


Abb. 15: Durchstimmbarer 50-Hz-Schwingkreis als Last für einen Transformator

erkennt man, daß sich der Schwingkreis wie eine ohmsche Last verhält, die aufgenommene Wirkleistung am größten ist und $\cos \varphi = 1$ ist. Verstimmt man den Schwingkreis zu einer kleineren Resonanzfrequenz hin als 50 Hz, so verhält er sich als überwiegend induktive, bei Verstimmung zu größerer Resonanzfrequenz hin als überwiegend kapazitive Last.

Abb. 16 zeigt den Bildschirmausdruck einer Messung mit eingeblendeten Zahlenwerten und Schwingkreis als Last.

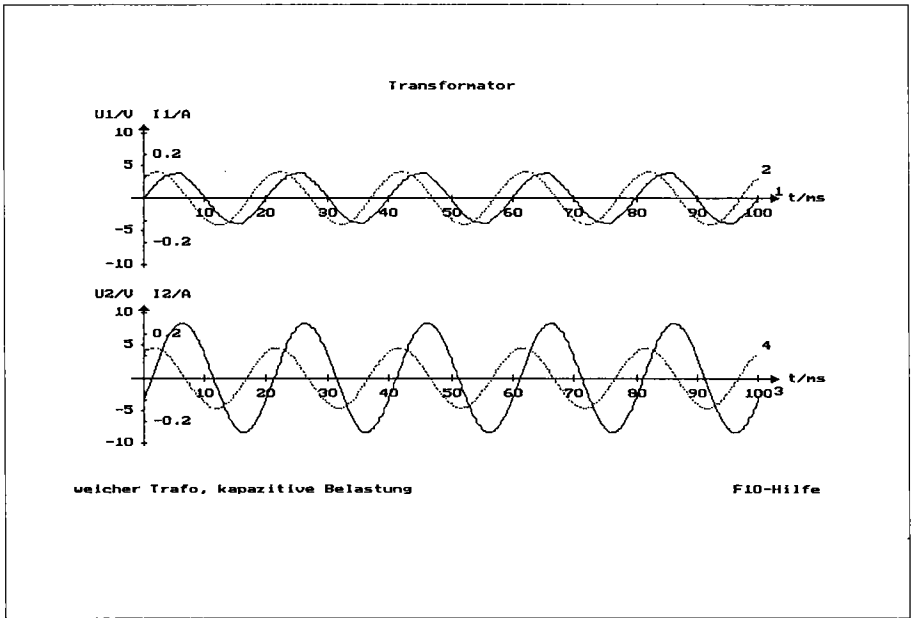


Abb. 16: Vier-Kanal-Darstellung am Transformator

4. VKA-CASSY

VKA ist die Abkürzung für Viel-Kanal-Analyse, einem häufig benutzten Meßverfahren in der kernphysikalischen Meßtechnik. Der Mensch hat für Kernstrahlung kein Sinnesorgan. Um sie nachzuweisen oder sogar quantitativ zu messen, wird die Wechselwirkungen der Strahlung mit Materie ausgewertet. Ein allseits bekanntes Beispiel sind Zählrohre, insbesondere Geiger-Müller-Zählrohre, in denen durch stark ionisierende Teilchen (α, β) eine kurze Entladung gezündet wird, die zu einem kräftigen, leicht meßbaren elektrischen Impuls führt. Er hat immer die gleiche Größe. Deshalb sind mit Geiger-Müller-Zählrohren keine Aussagen über Teilchenart oder -Energie möglich. Die Wechselwirkung von γ -Strahlung in NaJ-Kristallen bzw. α - oder β -Strahlung in Si-Halbleiterzählern lassen Aussagen über die Teilchenenergie zu. Derartige Detektoren findet man auch sehr häufig an Schulen.

In Si-Halbleiterzählern (großflächige Si-Dioden) werden in der ladungsträgerfreien Sperrschicht Ladungsträger erzeugt, deren Anzahl von der absorbierten α -Energie abhängig ist. Ladungsempfindliche Verstärker erzeugen daraus elektrische Impulse, deren Amplitude proportional zur Teilchen-Energie ist. Da die Wechselwirkung mit γ -Quanten und die Sperrschichttiefe gering sind, eignen sie sich nur für stark ionisierende Teilchen, die ihre Energie auf sehr kurzem Weg abgeben.

In NaJ-Kristallen erzeugt radioaktive Strahlung kurze Lichtblitze, die mit sehr empfindlichen Lichtdetektoren, sog. SEV (Sekundär-Elektronen-Vervielfachern) in elektrische Impulse umgewandelt werden. Die Anzahl der erzeugten Photonen und die Amplitude der elektrischen

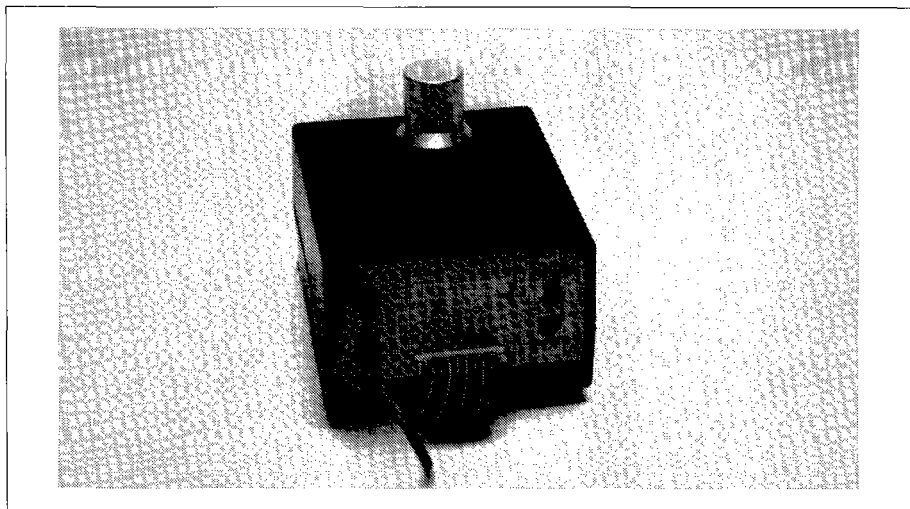


Abb. 17: VKA-CASSY mit eingestecktem NaJ-Detektor

Impulse ist proportional zur Teilchenenergie. Da NaJ hygroskopisch ist und der Kristall gegen äußeren Lichteinfall geschützt werden muß, ist er in der Regel mit einer Schutzhülle umgeben, die α -Teilchen vollkommen und β -Teilchen teilweise absorbiert. γ -Strahlung passiert die Schutzhülle nahezu ungeschwächt. Deshalb und wegen des guten Wechselwirkungsquerschnittes sind NaJ-Kristalle weitverbreitete γ -Detektoren (s. a. [4]). Die Energieauflösung ist leider nicht besonders gut. Sie wird durch die Breite des Photo-Peaks in halber Peakhöhe, der sog. Halbwertsbreite, definiert. Die tatsächliche Halbwertsbreite ist von der Größe des Kristalles abhängig; gute Kristalle erreichen eine Energieauflösung von 7%.

Die energieproportionalen Impulse beider Detektoren sind sehr kurz und entstehen zu rein zufälligen Zeiten. Zur quantitativen Auswertung sind deshalb spezielle elektronische Verfahren nötig. Im Modul VKA-CASSY (Abb. 17), das anstelle des CASSY-E an den MS-DOS-Connector angeschlossen wird, werden die Impulse zeitlich gestreckt und entsprechend ihrer Amplitude in computergerechte Zahlen gewandelt. Zu jeder Zahl gehört demnach ein Impuls, der einem Energieintervall dE zugeordnet wird, dessen Breite von der Auflösung des A/D-Wandlers abhängig ist.

Das VKA-Programm ordnet jeder Zahl (Energieintervall dE) einen Kanal zu, in dem die Häufigkeit der verschiedenen Zahlen (Kanäle) addiert wird. Das bei einer Messung gewonnene Energiespektrum stellt demnach die Häufigkeitsverteilung der verschiedenen Ener-

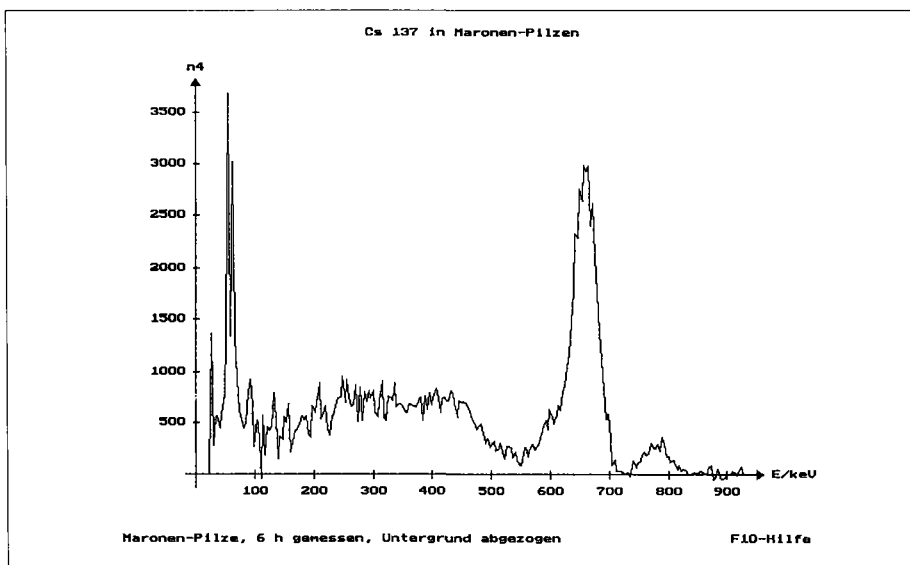


Abb. 18: γ -Spektrum des ^{137}Cs ; Präparat: getrocknete Maronenpilze. Der große Peak wird von ^{137}Cs , der kleinere rechts daneben vom ^{134}Cs verursacht.

gieintervalle eines radioaktiven Strahlers dar. Das Programm nutzt wegen der relativ geringen Energieauflösung der derzeitig schulüblichen Detektoren eine Auflösung von 8 Bit (= 256 Kanäle).

Für besser auflösende Detektoren, z. B. Germanium-Zähler, können Programme jederzeit eine höhere Auflösung bis 10 Bit (= 1024 Kanäle) nutzen, ohne daß an VKA-CASSY selbst Änderungen vorgenommen werden müssen.

Die Abb. 18 zeigt ein γ -Spektrum (^{137}Cs), gemessen mit NaJ-Kristall; Abb. 19 ein α -Spektrum, gemessen mit einem Si-Halbleiterdetektor im Vakuum.

Auf der Diskette des VKA-Programms wird zusätzlich zur Programmierung des VKA-CASSY eine Unit (für Turbo Pascal 4.0/5.0/5.5/6.0) mitgeliefert, mit der jeder Pascal-Kundige eigene VKA-Programme schreiben kann.

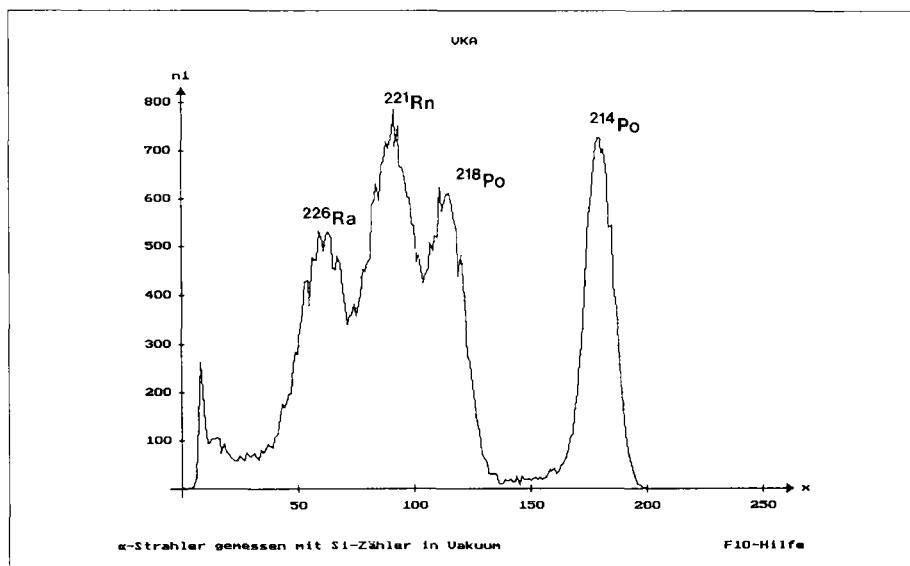


Abb. 19: α -Spektrum des ^{226}Ra , gemessen in einer Vakuum-Kammer mit einem Silizium-Sperrschichtzähler. Folgende Isotope wurden gemessen: ^{226}Ra (4,8 MeV), ^{221}Rn (5,43 MeV), ^{210}Po (5,3 MeV), ^{218}Po (6,0 MeV), ^{214}Po (7,68 MeV); ^{221}Rn und ^{210}Po werden nicht aufgelöst.

5. CASSYpas

Grundlage für die gesamte CASSY-Software ist CASSYpas, ein Programmier-Tool für Turbo Pascal 4.0/5.0/5.5/6.0 in Form von einzubindenden Units. Es besteht aus ca. 75 Funktionen und Prozeduren, die in einem Begleitheft ausführlich kommentiert sind. Selbstverständlich gibt es hier sowohl Prozeduren für Anfänger — z. B. einfache Spannungsmessung — als auch für Könner — z. B. Oszilloskop, Einbindung von Sensorboxen oder Verwendung des DMA (Direct Memory Access). Aus Kontakten zu Schulen ist bekannt, daß begabte Schüler eine Herausforderung darin sehen, eigene komfortable Meßprogramme zu schreiben. Im folgenden werden zwei kleine Programme gezeigt, die Pascalkundigen den Gebrauch der Tools verdeutlichen werden.

5.1 Spannungsmessung

```
Program Spannung_am_Eingang_BC_lesen;      {23.10.92, Hke}

{ Das Programm liest an B im 10 V- und an C im 3 V-Messbereich
  Spannungen und stellt sie in Normal- und Gross-Schrift dar. Die Unit
  CASSYpas ermoeeglicht den leichten Zugriff auf CASSY waehrend die
  Unit Util die Grossdarstellung von Zeichen unterstuetzt.
  AD_B, AD_C, AD_10V, AD_3V sind global vereinbarte Konstanten.}

uses Crt,
     CASSYpas,      {enthhaelt Tools zur CASSY-Programmierung}
     Util;          {unterstuetzt Grossdarstellung von Zeichen}

var Ub,Uc : real;

Begin
  ClrScr;
  AD_init(AD_B,AD_10V);      {Messbereichswahl 10 V}
  AD_init(AD_C,AD_3V);      {Messbereichswahl 3 V}
  repeat
    Ub := ADV(AD_B);        {Lesen der Spannung an B}
    Uc := ADV(AD_C);        {Lesen der Spannung an C}

    gotoXY(15,2);
```

```

write('U an B : ',Ub:5:2,' V,  U an C : ', Uc:5:2,' V');

BigWriteNum(2,5,Ub,5,2);    BigWriteStr(45,5,'V');
BigWriteNum(2,13,Uc,5,2);   BigWriteStr(45,13,'V');
until keypressed;
End.

```

U an B : 7.57 V | U an C : 1.68 V

7.57 V
1.68 V

Abb. 20: Eine vom Programm erzeugte Anzeige.

5.2 Einkanal-Oszilloskop

```
program EinkanalOszilloskop3;      {16.4.91, Hke}
{ Oszilloskop-Programm mitingezeichnetem Achsenkreuz }

uses  Crt,
      Graph,
      CASSYpas,  {enthaelt Tools zur CASSY-Programmierung}
      Util,      {unterstuetzt Grossdarstellung von Zeichen}
      UNIGRAPH;  {fuer Graphik in Weltkoordinaten (800 x 600 Pixel)}

const  X_Null  = 100;
       Y_Null  = 300;
       max_osc = 800;

type Eink = array[0..max_osc] of integer;

var Messwerte : Eink;
    ch : char;

(*-----*)
procedure Graf(var MW : Eink; x,y : integer);
    {in Weltkoordinaten 800 x 600 Pixel}
var MesswerteAlt : Eink;
    n             : integer;
begin
    For n := 1 to max_osc-x do
    begin
        PutPixel(ux(n+X),uy(trunc((MesswerteAlt[n])/8+Y)),0);
                                (* Loeschen des vorherigen Punktes *)
        PutPixel(ux(n+X),uy(trunc((MW[n])/8+Y)),1);
    end;
    MesswerteAlt := MW
end;

(*-----*)
procedure Achsenkreuz(X,Y: integer);
    { gezeichnet in Weltkoordinaten }
begin
```

```

Line(ux(X),uy(Y),ux(max_osc),uy(Y));
Line(ux(X),uy(Y-250),ux(X),uy(Y+250))
end;
(*-----*)
begin
  AD_Init(AD_B,AD_10V);
  setGraphMode(GraphMode);
  SetBkColor(7);
  repeat
    F_Trigger(rising,2,0,true);
    Fast_OneCh_Osc(AD_B,i_100us,max_osc,Messwerte);
    Achsenkreuz(X_Null,Y_Null);
    Graf(Messwerte,X_Null,Y_Null);
  until keypressed;
  ch := readKey;
  repeat until keypressed;
  restoreCrtMode
end.

```

Da es zum CASSY für fast jedes Problem ein fertiges Programm gibt, besteht nur selten die Notwendigkeit, eigene Programme schreiben zu müssen. Dennoch ist es für viele Anwender wichtig zu wissen, daß es prinzipiell ohne große Probleme möglich ist.

Literatur

- [1] Hauptkatalog Physik, Abschnitt CASSY (Leybold Didactic GmbH)
- [2] Bei den Verfassern können kostenlose Demo-Versionen des Programmes „Messen und Auswerten“, 524 111, angefordert werden
- [3] 524 701, Programmdiskette „Bewegung“ (BMW)
- [4] Göhler, Szintillationszähler für Gamma- und Betastrahlung, 559 961
 Göhler, Gamma- und Beta-Szintillations-Spektrometrie, 559 971
 beide bei Leybold Didactic GmbH verlegt.